

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**ALTERNATIVA MODERNA DE REVEGETACION AUTOSOSTENIBLE
PARA EL CONTROL DE EROSION EN TALUDES EMPINADOS**

INFORME DE SUFICIENCIA

**Para optar el Título Profesional de:
INGENIERO CIVIL**

ARÍSTIDES ROBERTO CRUZ TRUJILLO

**Lima- Perú
2015**

Dedicatoria

A toda mi familia, en especial
a mi padres, Plácido y Ana, a mis hermanos
Jesús, Isabel y María, por todo el apoyo, paciencia y fe en mí.

	Pág.
RESUMEN	4
LISTA DE CUADROS	5
LISTA DE FIGURAS	6
INTRODUCCIÓN.....	9
CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES.....	10
1.1. ANTECEDENTES	10
1.2. OBJETIVO DEL ESTUDIO	10
1.3. DEFINICIONES.....	11
1.3.1 Erosión.....	11
1.3.2 La Hidrología	11
1.3.3 La Escorrentía	13
1.3.4 Infiltración	13
1.3.5 Materiales para el control de erosión.....	14
1.3.6 Geosintéticos.....	15
1.3.7 Vegetación Nativa	15
1.3.8 Top soil.....	15
CAPÍTULO II: DEFINICION DEL SISTEMA DE CONFINAMIENTO GEOCELULAR GEOWEB	17
2.1. SISTEMA CONFINAMIENTO GEOCELULAR GEOWEB.....	17
1.1.1 Composición del Geoweb.....	18
1.1.2 Propiedades de las celdas y uniones	18
1.1.3 Propiedades de la sección.....	21
1.1.4 Accesorios del sistema geoweb	24
CAPÍTULO III: ASPECTOS TECNICOS DE LA REVEGETACION AUTOSOSTENIBLE PARA EL CONTROL DE EROSIÓN.....	31

3.1.	APLICACION DE ESTABILIZACION DE TALUDES CON GEOWEB..	31
3.2.	INESTABILIDAD SUPERFICIAL – IDENTIFICACIÓN DE PROBLEMAS Y DETERMINACIÓN DE SUS CAUSAS.....	32
3.2.1	Problemas generales de erosión	32
3.2.2	Problemas de inestabilidad superficial localizados	32
3.2.3	Problemas generales de inestabilidad del revestimiento de taludes 33	
3.3.	SISTEMAS GEOWEB DE PROTECCIÓN DE TALUDES - CONTROL DE EROSIÓN	34
3.3.1	Principales componentes	34
3.3.2	Secciones geoweb	35
3.3.3	Material de relleno.....	35
3.3.4	Tensores poliméricos integrales	36
3.3.5	Anclajes a tierra.....	36
3.3.6	Subcapa de geotextil no tejido.....	37
3.3.7	Tratamientos superficiales.....	37
3.4.	CRITERIOS DE DISEÑO	38
3.4.1	Análisis de estabilidad del revestimiento del talud	38
3.4.2	Sistema geoweb con relleno de material orgánico y vegetación...	40
3.4.3	Selección del tamaño de celda.....	41
3.4.4	Selección del sistema de refuerzo	43
3.4.5	Comparativo de soluciones de control de erosión	46
3.5.	EJEMPLO DE DISEÑO.....	47
3.5.1	Requerimiento.....	47
3.5.2	Diagnostico	47
3.5.3	Solución	47
3.5.4	Datos geométricos:	49
3.5.5	Datos geotécnicos.....	49
3.5.6	Selección del tamaño de la celda	50

3.5.7	Análisis y evaluación	52
3.5.8	Metrado.....	65
CAPÍTULO IV: PROCESO CONSTRUCTIVO DEL SISTEMA DE REVEGETACION AUTOSOSTENIBLE PARA EL CONTROL DE EROSIÓN .. 67		
4.1	PREPARACION DEL TERRENO	67
4.2	EXCAVACION DE ZANJA DE ANCLAJE.....	68
4.3	PROTECCION DE FILTRO O DRENAJE.....	68
4.4	ANCLAJE DE CORONACION.....	69
4.5	COLOCACION DE LA GEOMALLA.....	71
4.6	COLOCACION Y FIJACION DE LAS SECCIONES DE GEOWEB.....	71
4.7	COLOCACION DEL RELLENO.....	73
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... 75		
5.1	CONCLUSIONES.....	75
5.2	RECOMENDACIONES	76
BIBLIOGRAFIA..... 77		
ANEXOS 78		
Anexo A – Especificaciones Técnicas		
Anexo B – Planos		
Anexo C – Metrado		
Anexo D – Presupuesto		

RESUMEN

El presente Informe de Suficiencia “Alternativa Moderna de Revegetación Autosostenible para el Control de Erosión en Taludes Empinados” permite plantear e ilustrar un sistema autosostenible que controle el proceso erosivo en los taludes debido a la acción de la lluvia, la escorrentía y el viento, mediante la incorporación de vegetación como elemento efectivo para la protección contra este fenómeno.

Se muestra además la importancia del uso de los geosintéticos como sistema de solución no convencional en el campo de la ingeniería, brindando múltiples beneficios en comparación a los sistemas tradicionales.

El desarrollo del presente informe ha sido posible gracias a las experiencias existentes en el uso extensivo de estas tecnologías en el control de erosión en taludes, donde se desarrolló metodologías de diseño, los procesos constructivos y esquemas de monitoreo de la información e investigación que existe sobre el sistema de control de erosión con celdas de confinamiento geocelular actualmente en el mundo.

El aporte del presente informe es brindar y desarrollar una solución integral que involucra la ingeniería con geosintéticos y la bioingeniería para tratar el problema de control de erosión en taludes, siendo además esta alternativa socialmente responsable con el medio ambiente.

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro N°2.1 Variación de longitud, ancho, densidad y área referencial de celdas, Fuente, Presto Products company.....	19
Cuadro N°3.1 Tipos de Tensores. Fuente, Presto Products Company.....	36
Cuadro N°3.2 Comparativo de Soluciones de control de erosión en taludes. Fuente, Elaboración propia.....	46
Cuadro N°3.3 Interpretación del pH de un Ensayo de Caracterización de Suelos UNALM. Fuente, Cortesía de Andex del Norte.....	50
Cuadro N° 3.4 Dimensiones de los tipos de secciones Geoweb.....	65

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura N°1.1	Proceso de erosión..... 11
Figura N°1.2	Ciclo hidrológico del agua (Dunne y Leopold, 1978).....12
Figura N°1.3	Erosión acelerada por intervención antrópica en taludes..... 14
Figura N°1.4	Top soil..... 16
Figura N°2.1	Esquema del Sistema de geoceldas expandibles.....17
Figura N°2.2	Extensión variable de la celda de Geoweb.....18
Figura N°2.3	Vista Isométrica Geoweb Texturado y Perforado.....19
Figura N°2.4	Ensayo de Resistencia al Desgaste Superficial.....20
Figura N°2.5	Sección Geoweb GW20V.....21
Figura N°2.6	Dimensiones del Geoweb GW20V3.....21
Figura N°2.7	Sección Geoweb GW30V.....22
Figura N°2.8	Dimensiones del Geoweb GW30V3.....22
Figura N°2.9	Sección Geoweb GW30V.....23
Figura N°2.10	Dimensiones del Geoweb GW40V4.....23
Figura N°2.11	Clip Atra de Polietileno.24
Figura N°2.12	Atra Key de Polietileno.....25
Figura N°2.13	Tendones de Poliester.....26
Figura N°2.14	Estaca de acero.....26
Figura N°2.15	Cintillo de fijación de Poliamida.....27
Figura N°2.16	Geomalla Extruida del Tipo Uniaxial.28
Figura N°2.17	Geomalla extruida del tipo biaxial.29
Figura N°2.18	Geomalla tejida del tipo uniaxial.....29
Figura N°2.19	Geomalla tejida del tipo biaxial.30
Figura N°3.1	Principales Componentes del Sistema Geoweb.....34

Figura N°3.2	Tamaño y Profundidad de las Celdas Geoweb.....	35
Figura N°3.3	Sistemas Típicos de Anclaje de Geoweb.....	37
Figura N°3.4.1	Elementos del Revestimiento de Talud.....	38
Figura N°3.4.2	Anclaje con relleno de coronación.....	39
Figura N°3.4.3	Estabilización de Revestimiento de Talud con una cuadrícula de Anclajes.	39
Figura N°3.4.4	Análisis de Estabilidad del Sistema Geoweb de Protección de Taludes.	39
Figura N°3.5	Determinación de la profundidad mínima de la celda.	42
Figura N°3.6	Selección del Tipo de Geoweb para varias Pendientes y Rellenos	43
Figura N°3.7	Geomalla Biaxial del tipo tejida.	44
Figura N°3.8	Geoweb con refuerzo de tendón + clip Atra.	45
Figura N°3.9	Geoweb con refuerzo de tendón + clip Atra + estaca.....	45
Figura N°3.10	Taludes antes de revegetar. Minera Barrick-La Libertad.....	48
Figura N°3.11	Taludes después de la revegetación con el Sistema Geoweb. Minera Barrick-La Libertad Norte.....	48
Figura N°3.12	Perfil de los taludes a proteger. Fuente, Plano RDT-001.....	49
Figura N°3.13	Representación del relleno de Topsoil en la celda GW30V3	51
Figura N°3.14	Factores de reducción recomendados para geomalla.....	53
Figura N°3.15.1	Fuerzas involucradas en la trinchera de anclaje.....	54
Figura N°3.15.2	Esfuerzos involucrados en la berma.	54
Figura N°3.15.3	Esfuerzos involucrados en la trinchera de anclaje.....	55
Figura N°3.16	Diagrama de cuerpo libre de las fuerzas actuantes en la zanja de anclaje.....	57
Figura N°3.17	Disposición de celdas GW30V3 por faja.....	66
Figura N°4.1	Perfilado del talud existente. Fuente,	67

Figura N°4.2	Excavación de zanja de fijación.....	68
Figura N°4.3	Colocación de geotextil sobre el talud.....	69
Figura N°4.4	Anclaje de la geomalla. Fuente, Cortesía de Andex del Norte.....	70
Figura N°4.5	Relleno y compactación en la zanja de coronación.	70
Figura N°4.6	Colocación de la geomalla sobre el talud.....	71
Figura N°4.7	Colocación de cintillos de fijación.	72
Figura N°4.8	Fijación geoweb - geomalla.....	72
Figura N°4.9	Colocación del accesorio Atra Key.....	73
Figura N°4.10	Colocación de Relleno (Top soil + semillas).....	74

INTRODUCCIÓN

Conforme la explotación minera y la infraestructura vial avanzan en el país, surgen problemas como son; la inestabilidad de taludes debido a los cortes, la contaminación de fuentes de agua, pérdida de suelos, deforestación, etc.

El corte de un talud implica la pérdida de la capa de suelo orgánico y con ello la vegetación nativa, el cual imposibilita que la vegetación vuelva a crecer. Esta exposición del talud la hace vulnerable a efectos de la energía erosiva de las precipitaciones, conllevando a pérdidas de masas de suelos con el transcurrir del tiempo, quedando de esta manera un talud inestable.

Observando esta problemática el hombre ha tomado una serie de medidas de solución para la protección del talud contra efectos de la erosión, siendo una de estas con el uso de Geosintéticos, cuyas propiedades han generado gran revolución en las soluciones convencionales.

Este informe se enfoca en la aplicación del sistema de revegetación autosostenible para el control de erosión en taludes, con la utilización del sistema de confinamiento geocelular Geoweb, logrando la estabilización mecánica, química y biológica para la revegetación de dichos taludes.

Una debilidad que tiene todo nuevo sistema, es la poca información de su etapa de construcción y funcionamiento, ya que parten de premisas convencionales, las cuales han sido modeladas tanto teórica y empíricamente tras varios años de análisis, sin embargo estos nuevos sistemas no están totalmente desarrollados. Por lo que hacer un seguimiento a estas tecnologías aporta nuevos criterios para su desarrollo.

CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES

1.1. ANTECEDENTES

El hombre a lo largo del tiempo mediante observaciones de los taludes naturales muestra que estos son más estables con vegetación que sin ella. La remoción de la capa de vegetación del talud, expone al suelo a la acción de la lluvia, la escorrentía y el viento, facilitando de esta manera la erosión.

La necesidad de buscar nuevas tecnologías que sean más versátiles, más fáciles de construir, más económicas y que tengan gran afinidad con el medio ambiente en proyectos de control de erosión, han impulsado al hombre a probar distintos tipos de soluciones y con distintos materiales que cumplan con la función de protección de los taludes contra efectos erosivos, llegando a desarrollar un sistema óptimo con la utilización de Geosintéticos, en este caso con el uso de las celdas que componen el Sistema Geoweb.

Hoy en día la revegetación para el control de erosión en taludes con el uso del Sistema de confinamiento geocelular Geoweb es una gran alternativa de solución, ya que integra el principio de estabilidad que brinda la vegetación sumado con un sistema compuesto de celdas que proporcionan el soporte y la retención del material orgánico o topsoil para el adecuado desarrollo de la vegetación en taludes empinados.

Este sistema logra además que la vegetación por medio de sus raíces se establezca el talud.

1.2. OBJETIVO DEL ESTUDIO

Proporcionar información técnica para demostrar que el sistema de revegetación autosostenible para control de erosión con celdas de confinamiento geoweb, es una buena alternativa de solución debido a su rapidez de instalación, versatilidad, son amigables con el medio ambiente y es una solución permanente comparada con otros sistemas de control de erosión. Por lo cual se evaluará y

propondrá criterios y recomendaciones para futuras propuestas técnicas y constructivas principalmente.

1.3. DEFINICIONES

1.3.1 Erosión

La erosión comprende el desprendimiento, transporte y posterior depósito de materiales de suelo o roca por acción de la fuerza de un fluido en movimiento (Figura N° 1.1). La erosión puede ser generada tanto por el agua como por el viento.

Como una regla general las regiones con suelos muy erosionables, pendiente alta, clima seco y fuertes vientos pero con lluvias intensas ocasionales, sufren las mayores pérdidas por erosión.

Las actividades humanas frecuentemente intensifican o aceleran la erosión, especialmente por la deforestación o la remoción de la capa vegetal, así como por la concentración de la escorrentía en forma artificial.

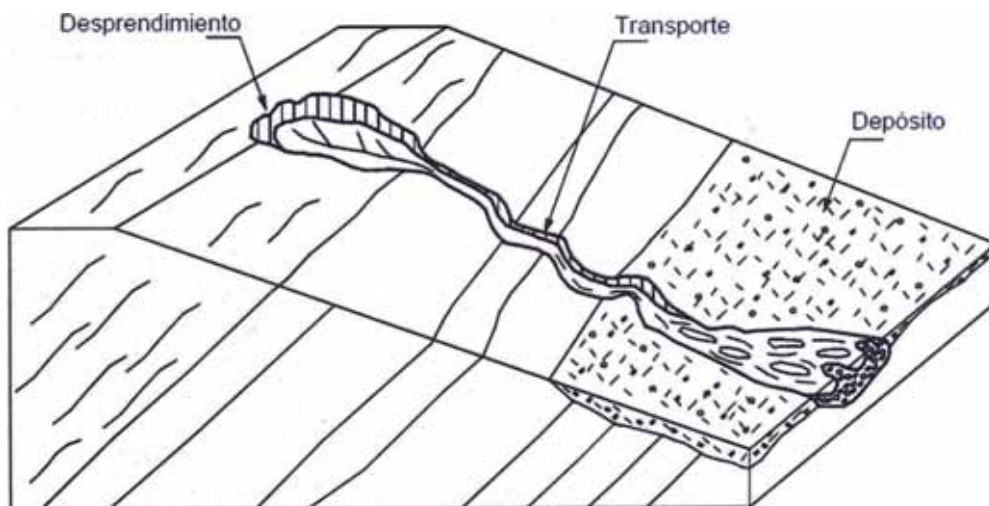


Figura N°1.1 Proceso de erosión. Fuente, Suárez Díaz, Jaime (2001).

1.3.2 La Hidrología

El análisis hidrológico es uno de los trabajos previos más importantes para el diseño de obras de control de erosión, independientemente de su tamaño o de

su costo. Ese análisis es importante para determinar los caudales máximos y velocidades máximas de la corriente; las cuales son indispensables para determinar las fuerzas de erosión, debidas al flujo de agua.

La hidrología no es una ciencia exacta y es posible que se obtengan resultados muy diferentes de acuerdo al método que se utilice para el cálculo y la metodología de manejo de la información; por lo tanto se deben utilizar criterios de sana ingeniería para decidir cuál método se debe aplicar.

Para el cálculo se requiere de los siguientes datos: las intensidades máximas de precipitación y escorrentía y los caudales máximos de las corrientes. Sin embargo para el diseño en el presente informe se considera un estado ya revegetado del talud y por este motivo no interviene la información hidrológica.

El Ciclo Hidrológico

El agua es un elemento natural esencial para la existencia de la vida, y esta se encuentra en la naturaleza de diferentes formas, generalmente en continuo movimiento; de acuerdo a un ciclo que incluye las nubes o vapor de agua, la precipitación en forma de lluvia granizo o nieve, la infiltración, la evapotranspiración, la escorrentía, las corrientes subterráneas, los acuíferos, los ríos y quebradas, los mares y los lagos (Figura N° 1.2). El agua continuamente está cambiando de forma de acuerdo a un ciclo natural denominado ciclo hidrológico.

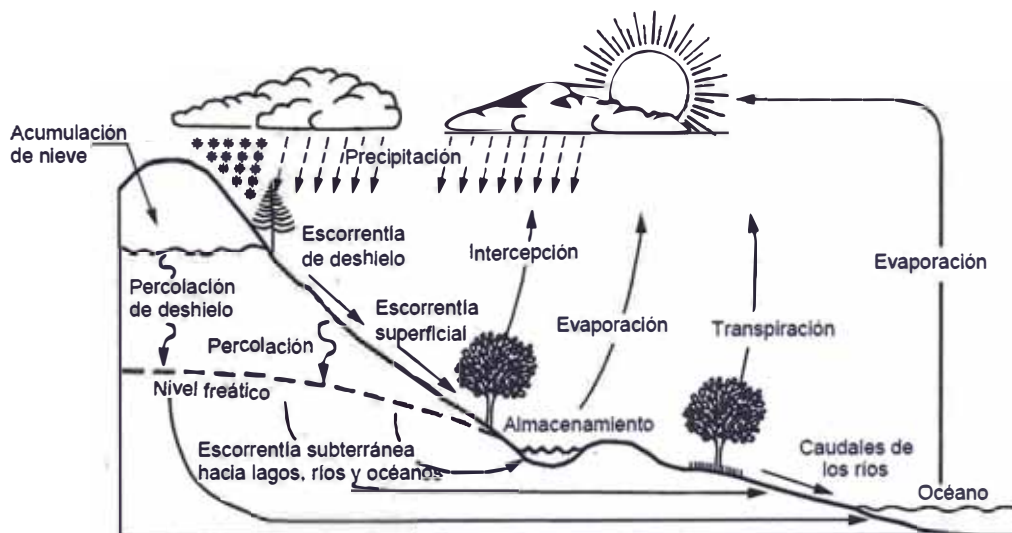


Figura N°1.2 Ciclo hidrológico del agua (Dunne y Leopold, 1978). Fuente, Suárez Díaz, Jaime (2001).

1.3.3 La Escorrentía

Escorrentía es la proporción de lluvia que fluye sobre la superficie del terreno. El camino y el tiempo que toma el agua desde que cae en forma de lluvia hasta que alcanza una cañada o río depende de las características físicas de la cuenca, particularmente de las pendientes del terreno, textura del suelo y vegetación. El agua corre laminarmente al comienzo, luego en concentraciones pequeñas, las cuales van creciendo ladera abajo.

La cantidad y concentración de la escorrentía depende de varios factores así:

- Intensidad de la lluvia.
- Área y forma de la superficie del terreno.
- Pendiente y longitud de las laderas o taludes.
- Naturaleza y extensión de la cobertura vegetal.
- Rugosidad de la superficie del terreno.
- Características de los suelos subsuperficiales.

1.3.4 Infiltración

El agua de la lluvia al caer sobre el suelo trata de infiltrarse, desplazando el agua existente hacia abajo por macro poros, formando una especie de onda de presión de agua dentro del suelo, la cual produce un frente húmedo de infiltración.

Al inicio de la lluvia la totalidad de la precipitación se infiltra humedeciendo el suelo. La humedad en el suelo antes de la lluvia es determinante en la cantidad de infiltración porque al llover, el agua trata de penetrar al suelo humedeciéndolo y creando una capa delgada de saturación; y hasta que ésta capa no haya llegado a un punto de equilibrio no se forman una escorrentía y una corriente de infiltración.



Figura N°1.3 Erosión acelerada por intervención antrópica en taludes. Fuente, Suárez Díaz, Jaime (2001).

1.3.5 Materiales para el control de erosión

Entre los materiales utilizados para el control de erosión se encuentran los siguientes:

- Los geosintéticos: Geomembranas, geotextiles tejidos y no tejidos, geomallas, geogrillas y geocompuestos.
- Los mantos sintéticos: Mantos de fibra de vidrio, Esterillas tridimensionales (TRMs y ECRMs).
- Matrices de fibras sintéticas: Hilos continuos o fibras independientes.
- Los tejidos orgánicos: De yute, fique, fibra de coco, fibra de madera, Excelsior.
- Rollos de Fibra: De paja, fibra de coco.
- Las barreras para sedimentos: Bolsas de arena, barreras de geotextil, barreras prefabricadas.
- Los geomoldes: colchonetas para rellenar con concreto, tubos de geotextil, bolsacreto, colchones celulares.
- Los prefabricados de concreto: Muros de elementos prefabricados, bloques unidos por cables, bloques individuales.

Los filtros granulares: gravas y arenas.

Los enrocados: Rip-rap, grandes bloques de roca

- El Mulching: Fibra de madera, paja, Mulching hidráulico.

Los pegantes: Emulsiones asfálticas, resinas sintéticas, yeso.

Controladores de polvo fugitivo: Cloruro de calcio, Cloruro de sodio, silicatos, emulsiones de acrílico, aceites del petróleo, residuos de aceites vegetales, lignosulfonatos.

Los gaviones: Muros y revestimientos.

La vegetación: Pastos, hierbas y árboles.

Los suelos orgánicos, abonos naturales y sintéticos.

1.3.6 Geosintéticos

Los Geosintéticos son un grupo de materiales fabricados mediante la transformación industrial de sustancias químicas denominadas polímeros, que de su forma elemental, de polvos o gránulos, son convertidos en láminas, fibras, perfiles, películas, tejidos o mallas.

Los geosintéticos interactúan con el suelo para mejorarlo, desempeñando una o más funciones, entre las que destacan: refuerzo, filtración, drenaje, separación, contención, protección, impermeabilización y control de erosión superficial.

1.3.7 Vegetación Nativa

Es aquella vegetación que es originaria de la zona en cuestión, el cual no fue introducido o extraído por el hombre desde otras zonas. En cambio, el eucaliptus y el plátano tienen una zona de origen distinta a sudamérica, y por lo tanto no se consideran nativos. Lo mismo ocurre con la mayoría de los cítricos, que tienen origen en china.

1.3.8 Top soil

Es la capa superficial del suelo rica en concentración de materia orgánica y microorganismos. Es conocido como suelo superficial o suelo orgánico.

Esta capa desarrolla y concentra las raíces de las plantas, obteniendo los nutrientes necesarios para su crecimiento. Cuando un suelo es más fértil, mayor es el espesor de top soil.



Figura N°1.4 Top soil. Fuente, Cortesía de Andex del Norte.

CAPÍTULO II: DEFINICION DEL SISTEMA DE CONFINAMIENTO GEOCELULAR GEOWEB

2.1. SISTEMA CONFINAMIENTO GEOCELULAR GEOWEB

El sistema de confinamiento geocelular Geoweb, es un sistema patentado de procedencia Norteamericana (Presto Products Company), cuya estructura está conformada por una sucesión de celdas.

Las celdas o secciones GEOWEB se fabrican con polietileno de alta densidad (HDPE) para conseguir que la resistencia de las uniones sean máximas y consistentes.

Las celdas vienen comprimidas en un sistema tipo “acordeón”, el cual puede extenderse para rellenarse con material granular o concreto, adicional a ello se le puede incorporar refuerzos (tendones, geomallas, etc), esto dependerá del fin de solución que se le haya asignado.

Principales aplicaciones del sistema:

- Soporte de carga
- Revestimiento de canales
- Control de erosión
- Muros de contención vegetados

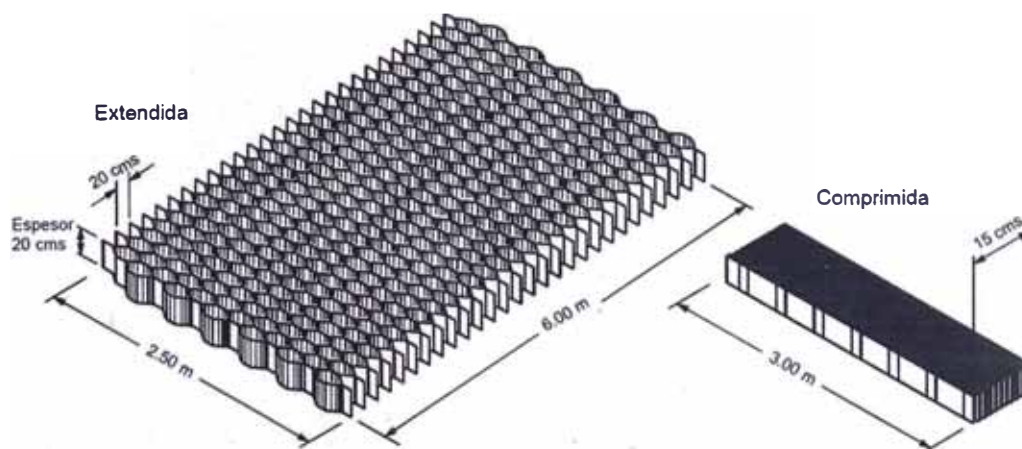


Figura N°2.1 Esquema del Sistema de geoceldas expandibles. Fuente, Suárez Díaz Jaime (2001).

1.1.1 Composición del Geoweb

El polietileno utilizado en la fabricación de fajas para secciones de Geoweb Presto tendrá una densidad de 0.935 a 0.965 g/cm³ (58.4 a 60.2 lb/pe³), ensayado bajo norma ASTM D1505.

El polietileno utilizado en la fabricación de fajas para las secciones de Geoweb tendrá una Resistencia al Agrietamiento por Acción del Medio Ambiente (ESCR- Environmental Stress Crack Resistance) de 3000 horas, ensayado bajo norma ASTM D1693.

Se utilizará negro de carbón como protección contra la luz ultravioleta. El contenido de negro de carbón será de 1.5% a 2% en peso y se obtendrá mediante adición de un portador con contenido certificado de negro carbón. El negro de carbón será distribuido homogéneamente en el material.

1.1.2 Propiedades de las celdas y uniones

Extensión

Todas las medidas de las celdas están sujetas a las tolerancias de fabricación, salvo indicación contraria.

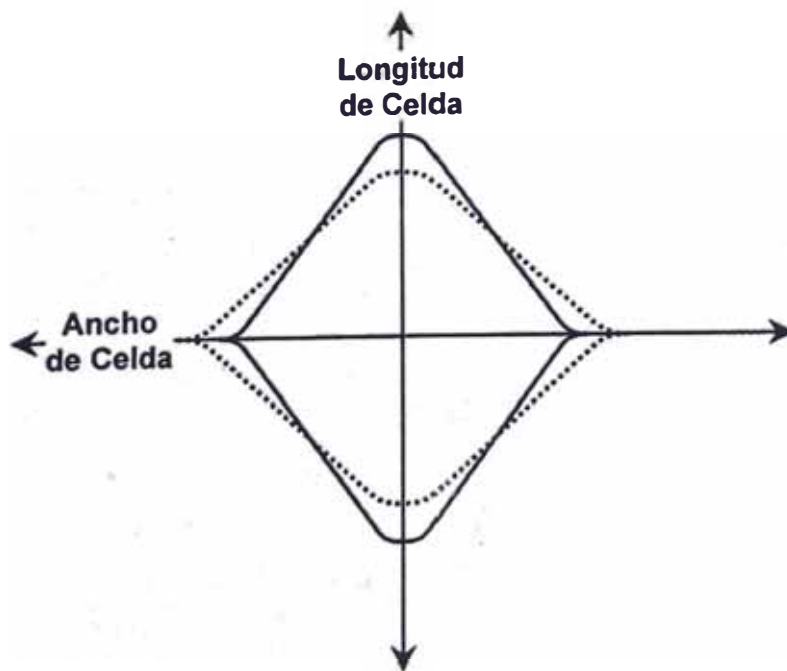


Figura N°2.2 Extensión variable de la celda de Geoweb. Fuente, Presto Products Company.

Dimensiones Referenciales

Las dimensiones de las celdas GW(TT)V de la sección Geoweb variaran dependiendo de su grado de extensión. El cuadro N°2.1 muestra las variaciones en las dimensiones, densidad y área de las celdas.

Cuadro N°2.1 Variación de longitud, ancho, densidad y área referencial de celdas, Fuente, Presto Products Company.

Tipo(TT)	Longitud	Ancho	Densidad por m ² (yd ²)	Área Referencial ± 1%
GW20V	224mm (8.8pulg)	259mm (10.2pulg)	34.6 (28.9)	289cm ² (44.8pulg ²)
GW30V	287mm (11.3pulg)	320mm (12.6pulg)	21.7 (18.2)	460cm ² (71.3pulg ²)
GW40V	475mm (18.7pulg)	508mm (20.0pulg)	8.3 (6.9)	1206cm ² (187.0pulg ²)

Profundidad de Celda

La sección de Geoweb tendrá una profundidad "D"

Profundidades:

- 200mm (8.0 pulg)
- 150mm (6.0 pulg)
- 100 mm (4.0 pulg)
- 75mm (3.0 pulg)

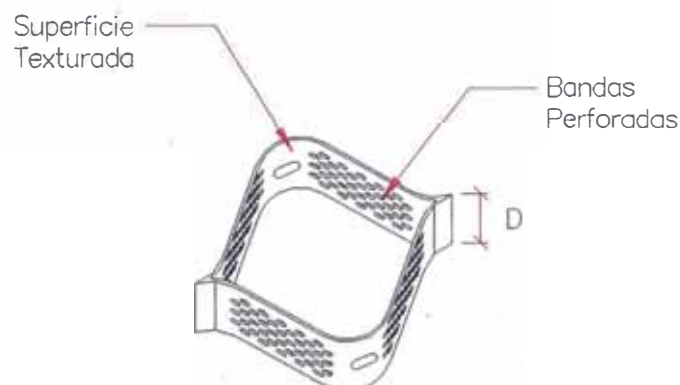


Figura N°2.3 Vista Isométrica Geoweb Texturado y Perforado. Fuente, Cortesía de Andex del Norte.

Ensayo de Resistencia de las Uniones de las Celdas al Desgaste Superficial

La resistencia de las uniones será uniforme a todo lo ancho de la celda. La resistencia al desgaste superficial a corto plazo será sometida a prueba de acuerdo al Apéndice A del informe Técnico GL-86-19 del U.S Army Corps of Engineers. Ver Figura N°2.4. La resistencia promedio al desgaste superficial de las uniones será de:

Las medidas promedio de desgaste superficial de las uniones será de:

- 2840 N (640 lbp, 290 kg) para la celda de 200 mm (8 pulg) de profundidad.
- 2130 N (480 lbp, 218 kg) para la celda de 150 mm (6 pulg) de profundidad.
- 1420 N (320 lbp, 145 kg) para la celda de 100 mm (4 pulg) de profundidad.
- 1060 N (240 lbp, 108 kg) para la celda de 75 mm (3 pulg) de profundidad.

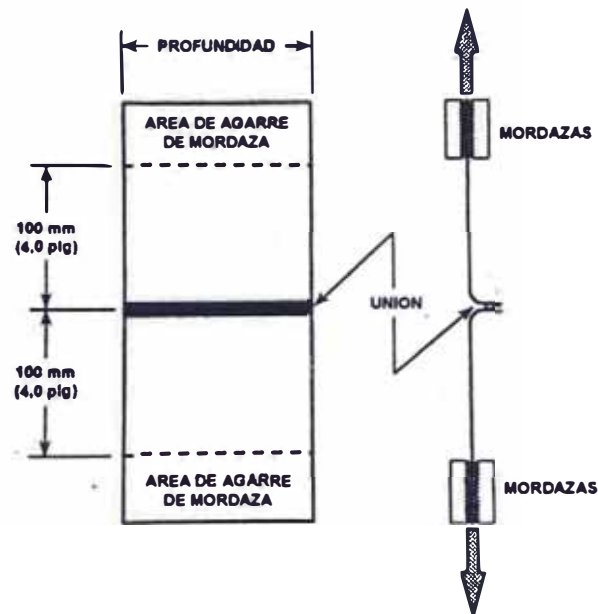


Figura N°2.4 Ensayo de Resistencia al Desgaste Superficial. Fuente, Presto Products Company.

NOTA: el Apéndice A del informe Técnico GL-86-19 del U.S Army Corps of Engineers exige para una geocelda de 200 mm (8.0 pulg) de profundidad, una resistencia mínima al desgaste superficial de las uniones de 2000 N (450 lbp).

1.1.3 Propiedades de la sección

Sección GW20V

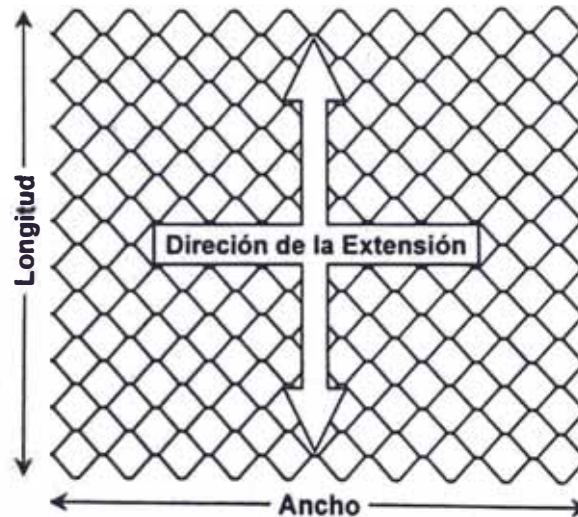


Figura N°2.5 Sección Geoweb GW20V. Fuente, Presto Products Company.

Las dimensiones de la sección de Geoweb Presto GW20V serán las indicadas en la Figura N°2.6. Las secciones tendrán la nomenclatura "GW20VD" donde "GW20V" indica el tamaño de celda, "D" indica la profundidad de celda en pulgadas, "WW" indica el número de celdas a lo ancho, y "LL" el número de celdas a lo largo.

Por ejemplo, una sección de Geoweb GW20V de nomenclatura GW20V3, tiene una profundidad de celdas de 3 pulg o 75 mm, 10 celdas de ancho y 25 celdas de largo.

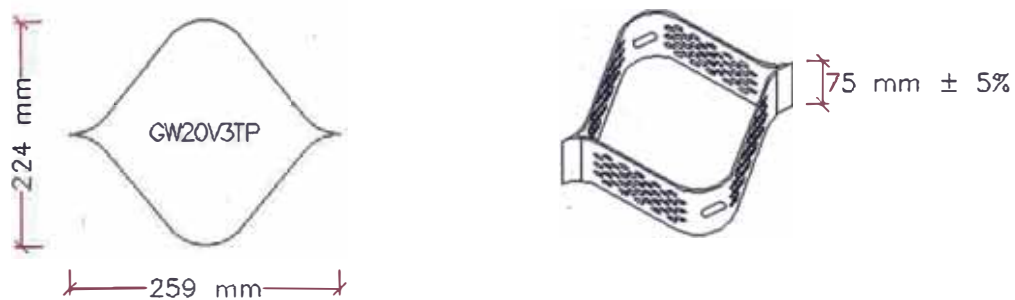


Figura N°2.6 Dimensiones del Geoweb GW20V3. Fuente, Cortesía de Andex del Norte.

Sección GW30V

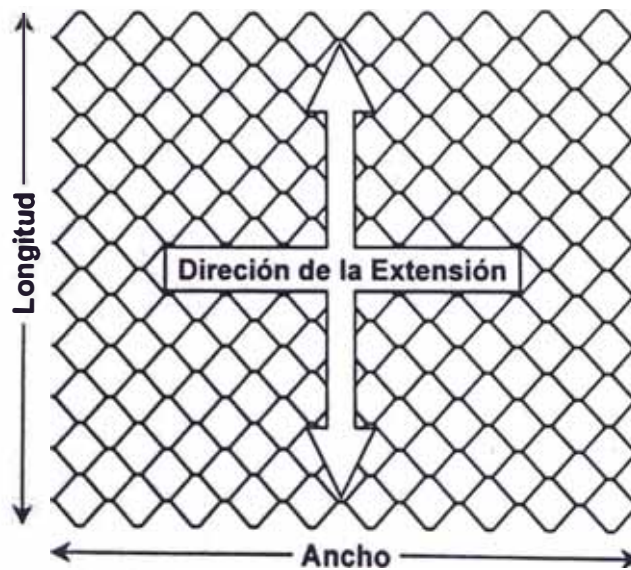


Figura N°2.7 Sección Geoweb GW30V. Fuente, Presto Products Company.

Las dimensiones de la sección de Geoweb Presto GW30V serán las indicadas en la Figura N°2.8. Las secciones tendrán la nomenclatura "GW30VDWWLL" donde "GW30V" indica el tamaño de celda, "D" indica la profundidad de celda en pulgadas, "WW" indica el número de celdas a lo ancho, y "LL" el número de celdas a lo largo.

Por ejemplo, una sección de Geoweb GW30V de nomenclatura GW30V30829, tiene una profundidad de celdas de 3 pulg o 75 mm, 8 celdas de ancho y 29 celdas de largo.

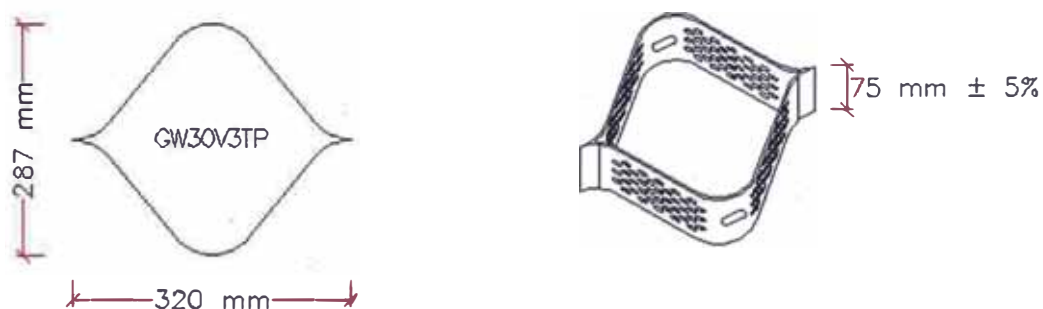


Figura N°2.8 Dimensiones del Geoweb GW30V3. Fuente, Cortesía de Andex del Norte.

Sección GW40V

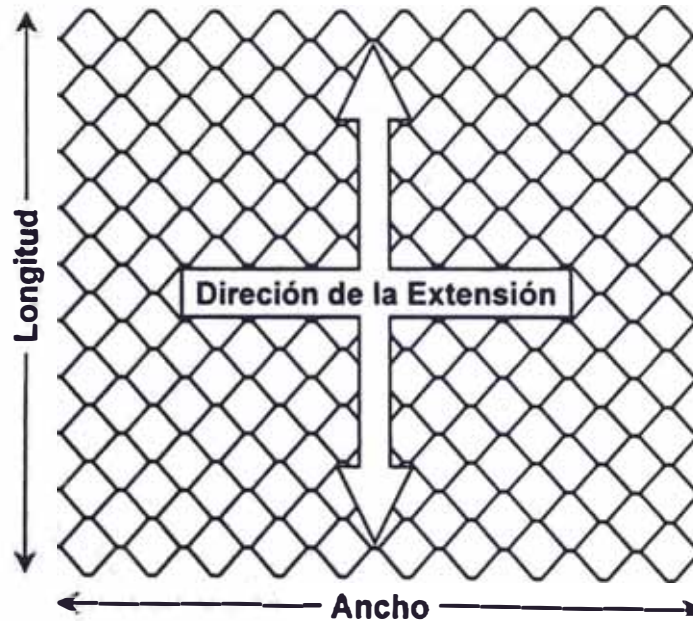


Figura N°2.9 Sección Geoweb GW30V. Fuente, Presto Products Company.

Las dimensiones de la sección de Geoweb Presto GW40V serán las indicadas en la Figura N°2.10. Las secciones tendrán la nomenclatura "GW40VD" donde "GW40V" indica el tamaño de celda, "D" indica la profundidad de celda en pulgadas, "WW" indica el número de celdas a lo ancho, y "LL" el número de celdas a lo largo.

Por ejemplo, una sección de Geoweb GW40V de nomenclatura GW40V40529, tiene una profundidad de celdas de 4 pulg o 100 mm, 5 celdas de ancho y 29 celdas de largo.

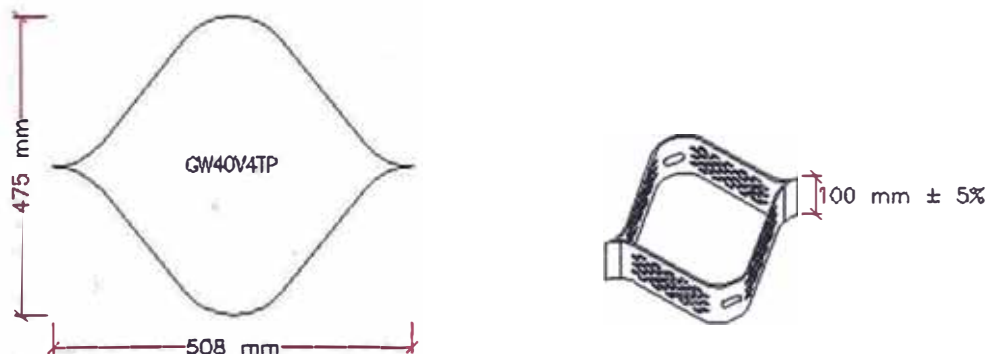


Figura N°2.10 Dimensiones del Geoweb GW40V4. Fuente, Cortesía de Andex del Norte.

1.1.4 Accesorios del sistema geoweb

El Clip Atra

El Sistema de Transferencia de Carga y restricción ATRA ha sido diseñado para transmitir las tensiones encontradas en los tendones hacia el suelo a través de las estacas. Por ello posee dos brazos que permiten el lazo adecuado tipo "Moore" para realizar la transferencia de tensión sin generar torsiones ni ahogo de las fibras del tendón.

Para ser colocado en las estacas posee una cavidad para una varilla de 1/2" la cual entra de modo perfecto generando la trabazón y posibilitando el hincado por la abertura en la parte superior del clip.

Esta hecho de polietileno de modo de evitar punzonamientos a las bandas de la celda y al tendón que pase por él. Los brazos del clip permiten también sujetar a las paredes de las celdas contra el suelo de modo efectivo.



Figura N°2.11 Clip Atra de Polietileno. Fuente, Cortesía de Andex del Norte.

El Atra Key

El Atra Key es un accesorio de material sintético, diseñado para conectar mecánicamente Secciones de Geoweb, y por otro lado permite ahorrar tiempo de instalación.

Con una torsión de 90° se logra fijar la unión de Secciones de Geoweb tres veces más rápido que usar grapas.

El Atra Key, es un accesorio tres veces más resistente que las grapas, asegurando una mayor transferencia de cargas entre las Secciones de Geoweb, la que se ve reflejada en la prueba de falla de pull-trough, resistiendo 1.20 KN.

Otra de sus ventajas, en comparación con las grapas, es:

- No se requiere de equipo alguno para su instalación.
- Fácil de transportar y almacenar.
- Es más seguro, ya que elimina las lesiones de los trabajadores asociados a los equipos de instalación.



Figura N°2.12 Atra Key de Polietileno. Fuente, Cortesía de Andex del Norte.

Tendones

Los tendones se utilizan para distribuir y disipar adecuadamente las cargas transferidas por las fuerzas desestabilizantes de las protecciones con celdas geoweb.

Los tendones generalmente son de poliéster y viene en cartones con 610 metros lineales. Los tendones pasan a través de los agujeros para los tendones y se enlazan en los clips de restricción Atra. Los tendones deben poseer una resistencia mínima de acuerdo para cada aplicación, las resistencia típica para el TP-93 es de 9.30 kN a una deformación del 9%-15%.



Figura N°2.13 Tendones de Poliéster. Fuente, Cortesía de Andex del Norte.

Estacas de Acero

Las estacas de acero transmiten las fuerzas desestabilizantes al terreno de apoyo. ANDEX utiliza acero ASTM A615 Grado 60 con certificación de planta para garantizar cada elemento de anclaje.

El diámetro es el adecuado para la inserción del clip Atra. Los métodos de colocación dependen de la cantidad y tipo de terreno, por el ello el clavado de las estacas puede ser manual, mecánicos, neumático, etc. Generalmente los rendimientos con colocación manual se compensan con más personal.



Figura N°2.14 Estaca de acero. Fuente, Cortesía de Andex del Norte.

Cintillos de fijación

Los cintillos de fijación tienen la función para unir mecánicamente las celdas del sistema geoweb con la geomalla de refuerzo.

El extremo libre del cintillo (lengueta) se inserta por debajo de una tira de la geomalla y luego bordea toda la altura de la celda de geoweb hasta encontrarse con su otro extremo (ojalillo) y asegurarlo. Ver figura N°2.15.

Este accesorio distribuye y disipa adecuadamente las cargas transferidas por las fuerzas desestabilizantes de las protecciones con celdas geoweb a las geomallas de refuerzo.

Sus principales características son:

- Material de poliamida.
- Resistente a temperaturas de - 40°C hasta 80°C
- Resistente a materias orgánicas.
- Proporciona una sujeción absolutamente segura.
- Resistente a la radiación UV; Gracias al carbono que contiene, se retrasa el efecto de la radiación ultravioleta en el material.

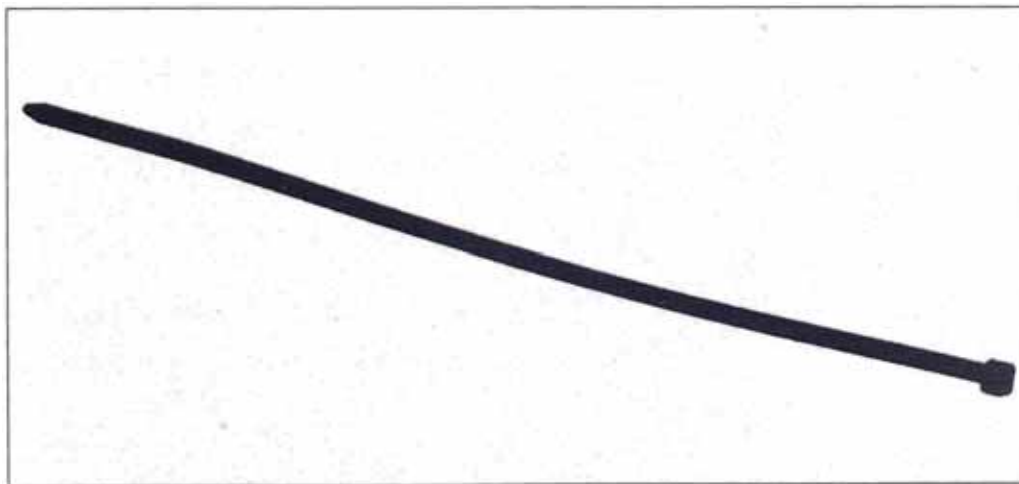


Figura N°2.15 Cintillo de fijación de Poliamida. Fuente, Elaboración propia.

Geomallas

Las Geomallas se fabrican de Polietileno, poliéster o polipropileno. Ofrecen alta resistencia a la tracción, resistencia química y biológica, con la flexibilidad necesaria para acoplarse al terreno. No se Oxidan ni se Corroen por lo que su uso permite una mayor vida útil.

Debido al tratamiento anti UV en la formulación de sus componentes, ofrecen una excelente resistencia a los rayos ultravioleta. Presentan un alto coeficiente de fricción entre suelo-malla y malla-agregado.

El tratamiento UV se requiere en condiciones donde la geomalla se encontrara a la intemperie de la radiación solar, el cual ocasionaría una degradación progresiva si esta no se protege.

Tipos de geomallas según su fabricación:

- Geomallas extruidas.
- Geomallas tejidas.
- Geomallas soldadas.

El uso de la Geomalla está orientado al mejoramiento de las propiedades físicas y mecánicas de los suelos.



Figura N°2.16 Geomalla Extruida del Tipo Uniaxial. Fuente, Cortesía de Andex del Norte.



Figura N°2.17 Geomalla extruida del tipo biaxial. Fuente, Cortesía de Andex del Norte.

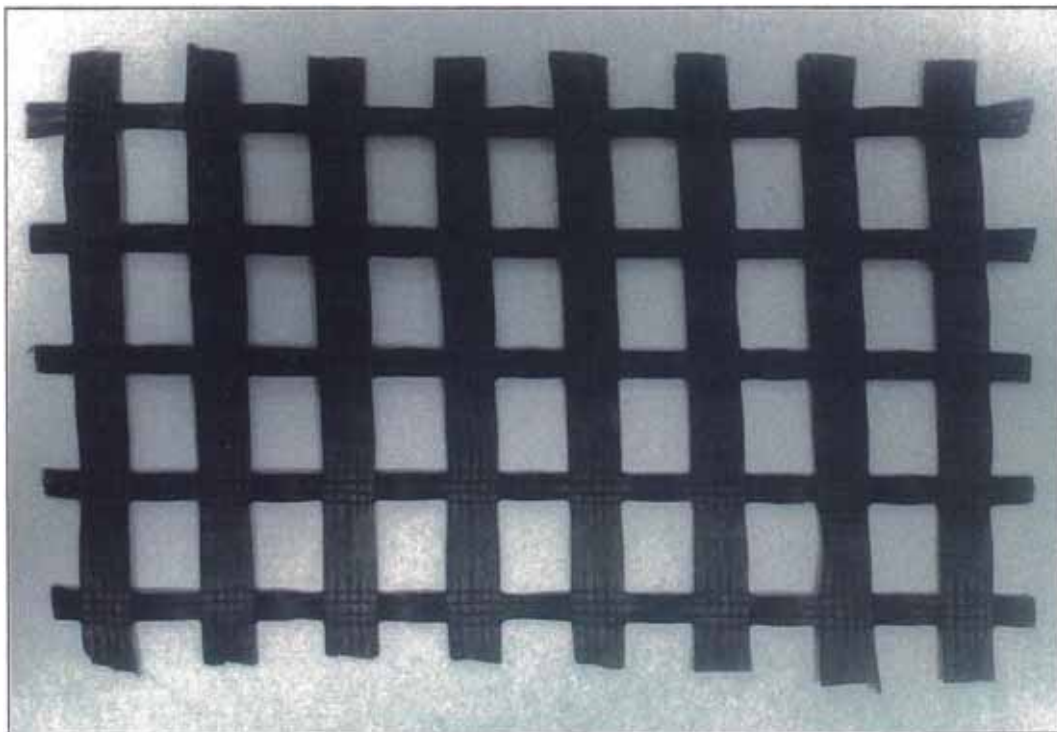


Figura N°2.18 Geomalla tejida del tipo uniaxial. Fuente, Cortesía de Andex del Norte.

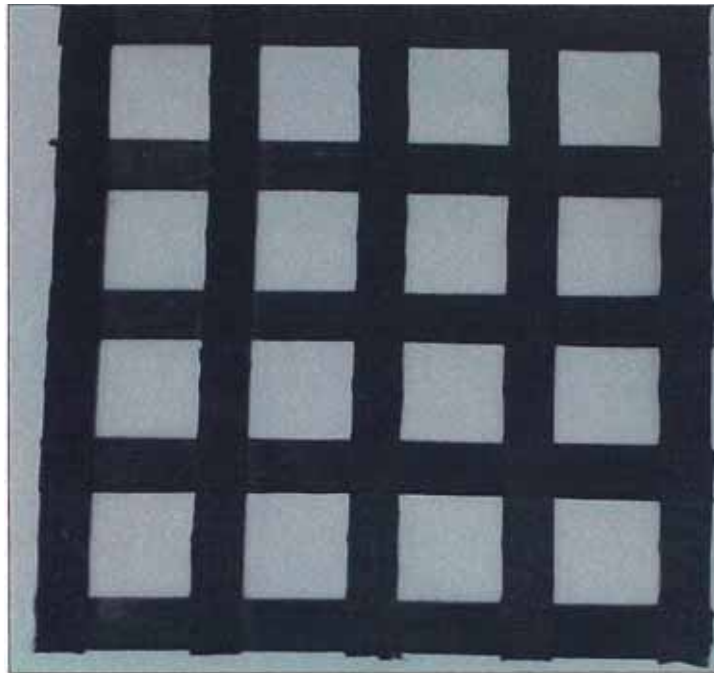


Figura N°2.19 Geomalla tejida del tipo biaxial. Fuente, Cortesía de Andex del Norte.

CAPÍTULO III: ASPECTOS TECNICOS DE LA REVEGETACION AUTOSOSTENIBLE PARA EL CONTROL DE EROSIÓN

La información de este capítulo está basada en el manual Presto Products Company, P.O. Box 2399, GEOWEB System (Sistema GEOWEB), Appleton, Wisconsin, USA 54912-2399.

3.1. APLICACION DE ESTABILIZACION DE TALUDES CON GEOWEB

El sistema Geoweb ofrece una amplia gama de tratamientos para la protección de la superficie de taludes sometidos a fuerzas erosivas. La flexibilidad característica del sistema, combinada con una serie de técnicas sencillas pero eficientes de anclaje, permite el revestimiento de los taludes empinados con materiales tanto duros como vegetales.

Al asegurar la estabilidad y eficiencia a largo plazo de los materiales de revestimiento del talud, se puede garantizar la estructura de los suelos subyacentes, cumpliendo a la vez con las normas adecuadas de estética. Por otra parte, el sistema Geoweb brinda un método eficaz para recubrir completamente los taludes con vegetación, en comparación de otros sistemas que no permitirían el crecimiento de las plantas.

A continuación se presentan la aplicación del sistema Geoweb para la estabilización de taludes:

- Taludes de terraplenes
- Diques de contención
- Protección de estribos
- Taludes de corte
- Presas y vertederos
- Estructuras recubiertas con tierra
- Revestimientos de riberas

Zona superior de terraplenes

3.2. INESTABILIDAD SUPERFICIAL – IDENTIFICACIÓN DE PROBLEMAS Y DETERMINACIÓN DE SUS CAUSAS

3.2.1 Problemas generales de erosión

Impacto de las lluvias y escorrentías

La separación de partículas del suelo y su traslado en suspensión al aumentar el flujo de escorrentía hacia abajo forman las grietas o surcos, que se ensanchan a medida que aumenta la pérdida de suelo. La rapidez y extensión de dicha erosión depende de la intensidad de lluvia, la escorrentía del suelo, el grado de pendiente y el estado de la cubierta vegetal.

3.2.2 Problemas de inestabilidad superficial localizados

Filtración de agua superficial

El drenaje del agua superficial del talud puede dar lugar a presiones de filtración elevadas que crean una especie de conductos circulares dentro del suelo al desaparecer las partículas de la capa que recubre el talud. Esta acción socaba el material adyacente, lo que lleva a una degradación progresiva de la superficie del talud.

Condiciones de hielo - deshielo

La formación cíclica de hielo y deshielo de los suelos del talud puede atrapar lentes de agua o de lodo entre materiales superficiales congelados y los suelos subyacentes, produciendo zonas de baja resistencia al corte. Esto puede provocar un deslizamiento de sectores del material de revestimiento que en condiciones normales hubiera permanecido estable.

Impacto y aceleración de oleaje

El impacto hidrodinámico, combinado con el flujo de alta velocidad hacia arriba y hacia atrás, someten los materiales de revestimiento del talud a esfuerzos elevados. Las fuerzas hidráulicas cíclicas hacia arriba terminan de desestabilizar el revestimiento y provocan el desplazamiento y la pérdida tanto de los suelos de refuerzo como de los suelos subyacentes.

Acción del hielo

Los revestimientos de las riberas y de la parte frontal de las presas, pueden estar sometidos a severas fuerzas de abrasión y de levantamiento debido al movimiento de los campos de hielo adyacentes. El impacto provocado por el viento y la flotación de las formaciones de hielo adherido durante las fluctuaciones de nivel del agua pueden ser particularmente dañinos.

3.2.3 Problemas generales de inestabilidad del revestimiento de taludes

Revestimiento de taludes con pendiente fuerte

La colocación de tierra vegetal con vegetación o de un revestimiento duro sobre taludes naturales o reforzados de fuerte pendiente requiere de métodos especiales de anclaje. Ejemplos de estas situaciones incluyen:

Pendientes mayores que el ángulo de reposo natural del material de revestimiento

Pendientes cuya inclinación excede el ángulo de fricción de la superficie de contacto entre el material de revestimiento y subsuelo.

Protección de Geomembrana

Los revestimientos de talud con geomembranas y geotextiles pueden desestabilizar un revestimiento protector de tierra debido al coeficiente de fricción relativamente bajo de muchos Geosintéticos. La estabilidad puede encontrarse aún más comprometida si el revestimiento está saturado, sujeto al impacto de oleaje y a fuerzas de levantamiento, o sobrecargado con el peso de un relleno adicional o de nieve.

Ausencia o pérdida de soporte en la base del talud

La estabilidad de una capa de revestimiento del talud puede depender del soporte proporcionado al pie del talud. Socavaciones en las partes inferiores del talud pueden desestabilizar toda la capa protectora. De manera similar, un anclaje de coronación en lugar de apoyo en la base del talud puede servir de protección de la parte superior de un extenso talud sumergido.

Anclaje inadecuado en la parte superior del talud

Puede asegurarse una protección integrada y flexible del talud con anclajes de coronación en lugar de un apoyo convencional al pie del talud. Esto resulta ventajoso cuando se desea proteger la parte superior de un extenso talud sumergido. Un anclaje de coronación inadecuado puede generar una inestabilidad general del revestimiento del talud.

3.3. SISTEMAS GEOWEB DE PROTECCIÓN DE TALUDES - CONTROL DE EROSIÓN

3.3.1 Principales componentes

La Figura N°3.1 muestra los principales componentes del sistema Geoweb. A continuación se presenta un análisis de la interdependencia de estos componentes y sub-componentes:

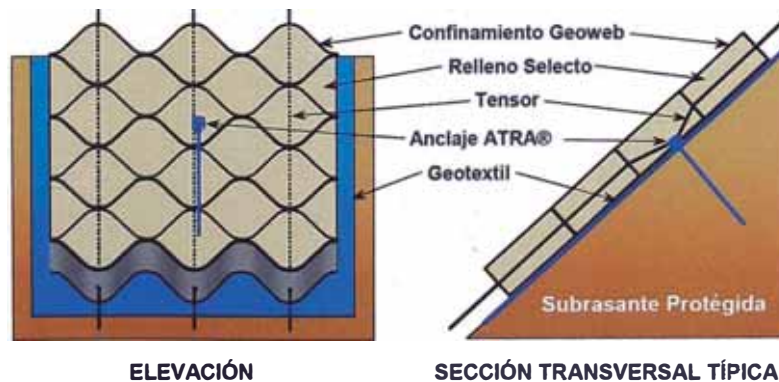


Figura N°3.1 Principales Componentes del Sistema Geoweb Fuente, Presto Products Company.

3.3.2 Secciones geoweb

Tamaño y profundidad de las celdas

Profundidad nominal de las celdas:

- 75 mm (3 in)
- 100 mm (4 in)
- 150 mm (6 in)
- 200 mm (8 in)

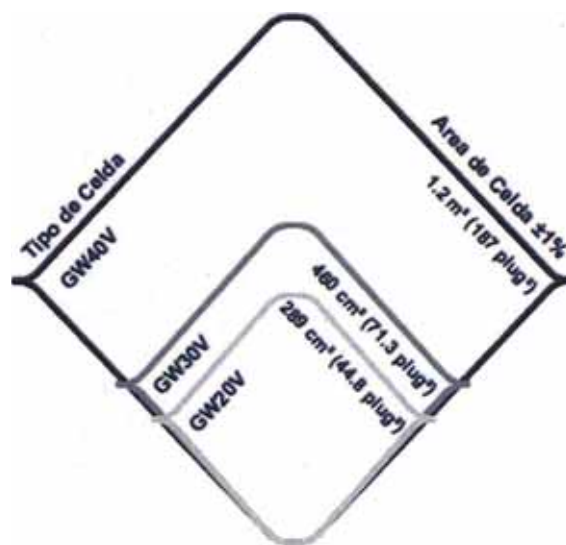


Figura N°3.2 Tamaño y Profundidad de las Celdas Geoweb. Fuente, Presto Products Company.

3.3.3 Material de relleno

Se requiere de una serie de materiales de relleno para dar soluciones específicas a los problemas que se presentan. Estos materiales incluyen:

- Tierra vegetal con varios tipos de vegetación (Topsoil)
- Agregados, incluyendo arena, grava y piedra
- Concreto de diversas resistencias y acabados
- Combinaciones de los anteriores aplicables a condiciones especiales

3.3.4 Tensores poliméricos integrales

Existen una variedad de tensores estándar (ver Cuadro N°3.1), con una diversidad de resistencias a la tensión, para satisfacer necesidades específicas de anclaje. El número de tensores y el espaciamiento entre ellos dentro de cada sección de Geoweb se determinara mediante métodos de análisis estático.

Cuadro N°3.1 Tipos de Tensores. Fuente, Presto Products Company.

Denominación Referencial	Resistencia mínima a la Rotura
TPC-71	7.12 kN (1600 lbf)
TP-31	3.11 kN (700 lbf)
TP-67	6.70 kN (1500 lbf)
TP-93	9.30 kN (2090 lbf)
TK-89	8.90 kN (2000 lbf)
TK-133	13.34 kN (3000 lbf)
TPP-44	4.40 kN (990 lbf)

3.3.5 Anclajes a tierra

El sistema Geoweb de protección de taludes puede fijarse con una serie de anclajes de superficie o con un sistema de anclaje de coronación, que se adapten a los requerimientos de diseño y a las condiciones de subrasante. La Figura N°3.3 muestra los tipos de anclajes más utilizados. Los detalles del anclaje se determinan mediante métodos de análisis estático.

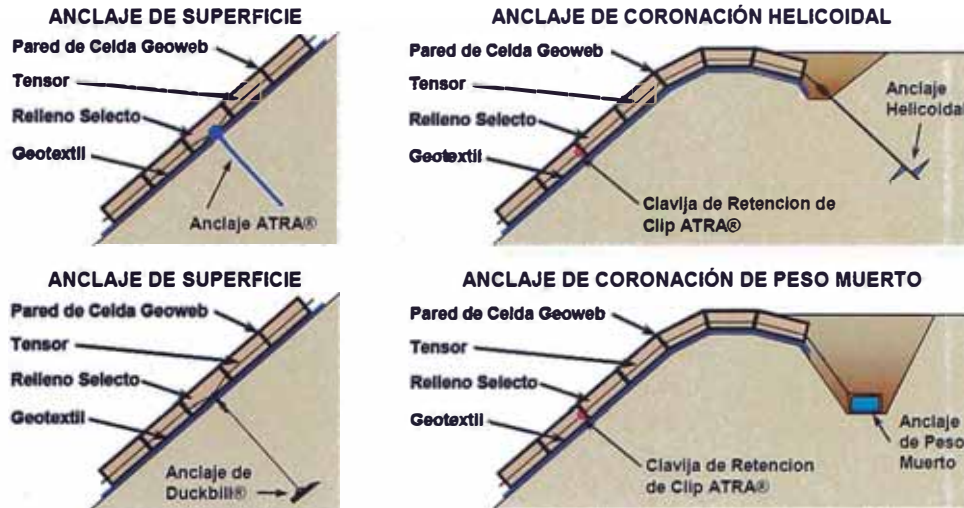


Figura N°3.3 Sistemas Típicos de Anclaje de Geoweb. Fuente, Presto Products Company.

3.3.6 Subcapa de geotextil no tejido

La colocación del Geotextil apropiado debajo del sistema de confinamiento Geoweb es típica de los trabajos de protección de taludes. La subcapa de Geotextil puede desempeñar una serie de funciones importantes, incluyendo:

- Drenaje laminar de las filtraciones de agua subterránea en la subrasante del talud.
- Confinamiento y filtración de las partículas de suelo de la subrasante.
- Refuerzo del conjunto de raíces en los rellenos con vegetación.
- Protección mecánica de las geomembranas subyacentes.
- Refuerzo tensor del sistema de protección del talud.

3.3.7 Tratamientos superficiales

Para soluciones puntuales de problemas específicos puede también referirse de una serie de materiales para el tratamiento de la superficie, tales como:

- Ligantes naturales o polímeros en aerosol.
- Todo tipo de revestimiento contra erosión.
- Lechada de concreto.

3.4. CRITERIOS DE DISEÑO

3.4.1 Análisis de estabilidad del revestimiento del talud

La resistencia de fricción de contacto del sistema con el suelo de subrasante se opone a la tendencia natural de la capa protectora de revestimiento a deslizarse hacia abajo. La resistencia al deslizamiento de los sistemas compuestos, que incorporan una geomembrana y/o un Geotextil de subcapa, puede verse limitada por los coeficientes de fricción relativamente bajos de estos materiales.

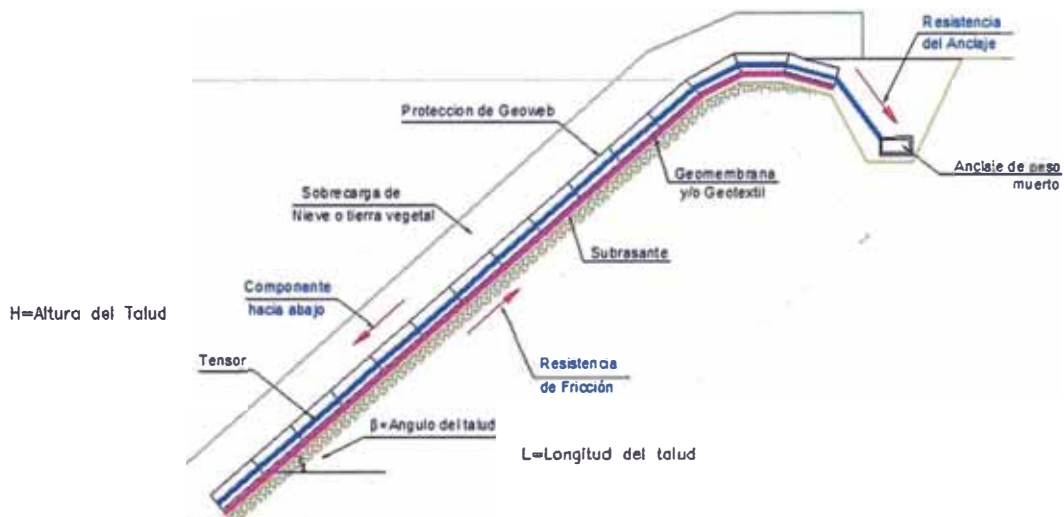


Figura N°3.4.1 Elementos del Revestimiento de Talud. Fuente, Presto Products Company.

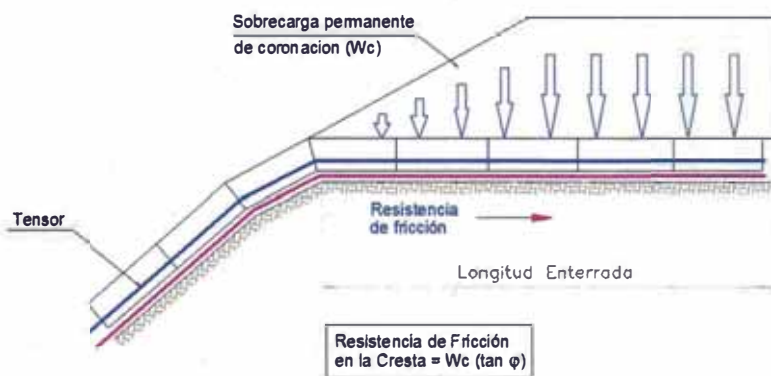


Figura N°3.4.2 Anclaje con relleno de coronación. Fuente, Presto Products Company.

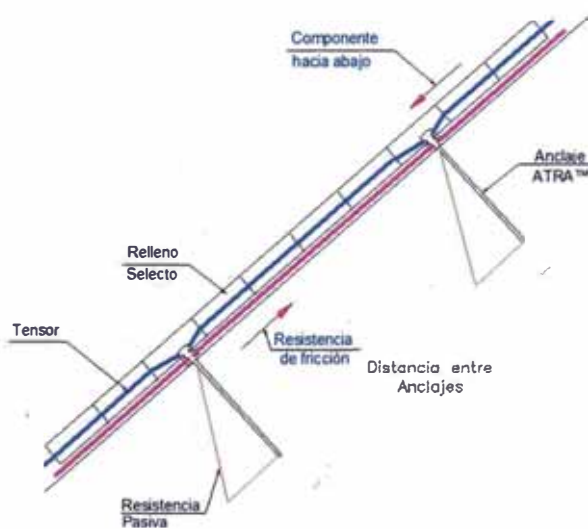


Figura N°3.4.3 Estabilización de Revestimiento de Talud con una cuadrícula de Anclajes. Fuente, Presto Products Company.

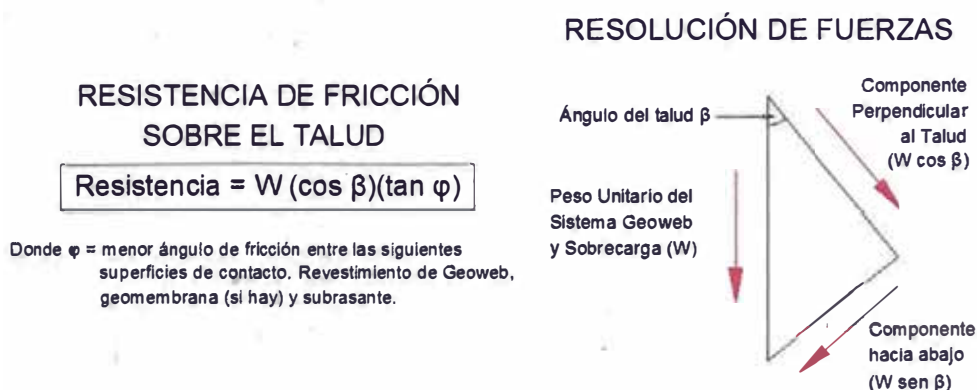


Figura N°3.4.4 Análisis de Estabilidad del Sistema Geoweb de Protección de Taludes. Fuente, Presto Products Company.

Al aumentar la inclinación del talud, la componente hacia abajo y paralela al talud del peso propio del revestimiento llega a ser mayor que la resistencia de fricción disponible, por lo que se requiere de anclajes adicionales. Los tensores poliméricos integrales del sistema Geoweb constituyen un medio efectivo para suministrar la retención necesaria.

Las clavijas de anclaje de superficie dentro de la celda del Geoweb (ver Figura N°3.3) y distribuidas a lo largo de cada tensor, constituyen la forma más común de anclaje del revestimiento del talud. Mediante el análisis de estabilidad, se determina el área máxima de revestimiento del talud que puede soportar una sola clavija de anclaje.

Cuando la colocación de anclajes de superficie resulta poco practica o cuando no se puede perforar las capas inferiores de Geosintéticos, se puede recurrir al anclaje de coronación para el revestimiento de todo un talud. Se puede utilizar diversos sistemas de anclajes de coronación, incluyendo anclajes de peso muerto y material de sobrecarga sobre el sistema de Geoweb con sus tensores en la parte superior del talud. Véase la Figura N°3.3 y la Figura N°3.4.2

3.4.2 Sistema geoweb con relleno de material orgánico y vegetación

Generalidades

Una vegetación bien establecida constituye un método efectivo y atractivo de protección de taludes que están sujetos a erosión suave y moderada. Sin embargo, la efectividad de la cubierta vegetal puede verse comprometida por escorrentías persistentes o fuertes en la superficie. Estas escorrentías pueden ir removiendo progresivamente las partículas de suelo de la zona de raíces, creando grietas y surcos que eventualmente destruirían la protección.

Ventajas del Confinamiento Geocelular

Las paredes de las celdas Geoweb, que contienen el relleno de tierra vegetal, forman una serie de pequeñas presas de detención a lo largo del talud protegido. Se impide así la formación de grietas que suele ocurrir cuando un flujo concentrado penetra en el suelo, ya que el flujo es continuamente redireccionado

hacia la superficie. Este mecanismo retarda también la velocidad del flujo, y por ende la fuerza erosiva de la escorrentía.

Cada celda contiene y protege un espesor determinado de tierra vegetal así como el conjunto de raíces que se están desarrollando. Las raíces penetran fácilmente dentro de las capas de geotextil no tejido del subsuelo, formando de esa forma una cubierta de refuerzo en toda el área del talud.

En regiones áridas, se ha observado que las celdas del Geoweb pueden mejorar el desarrollo de la vegetación nativa al retener cerca de la superficie del suelo una proporción mayor de la humedad disponible.

3.4.3 Selección del tamaño de celda

Los factores más importantes en la selección del tamaño de celda son la pendiente del talud, la intensidad de la escorrentía superficial, y el ángulo de reposo mínimo previsto para el material de relleno. Las recomendaciones para el tamaño de las celdas que se presentan a continuación asumen que se habrá desarrollado una cubierta vegetal completa antes de que el sistema se encuentre sometido a las condiciones de escorrentía de diseño.

Normalmente conviene utilizar el Geoweb de celdas GW40V para los rellenos de tierra con vegetación cuando la pendiente del talud es menor de 30° y se espera escorrentías de intensidad moderada. Para pendientes mayores de 30° (1.75H:1V) o para áreas expuestas a flujos fuertes o concentrados, se recomienda el Geoweb de celdas GW30V. Figura N°3.2 muestra detalles de las celdas de Geoweb.

La profundidad nominal de celda para la protección de la vegetación es de 75 mm (3 pulg), siempre que el subsuelo permita el desarrollo de raíces y que la pendiente del talud sea menor de 30°. Para pendientes mayores de 30° se requiere de una profundidad de celda de por lo menos 100 mm (4 pulg).

Entre las situaciones que podrían requerir mayor profundidad de celdas, se puede mencionar:

Colocación de vegetación sobre taludes en roca.

Aplicaciones en suelos muy erosionables.

- Soporte de taludes cubiertos de vegetación en regiones áridas.

La acción hidráulica que se produzca antes de que la vegetación este completamente desarrollada dentro de las celdas puede ocasionar perdida, asentamiento o cambio de forma de los suelos de relleno, tal como se muestra en la Figura N°3.5.

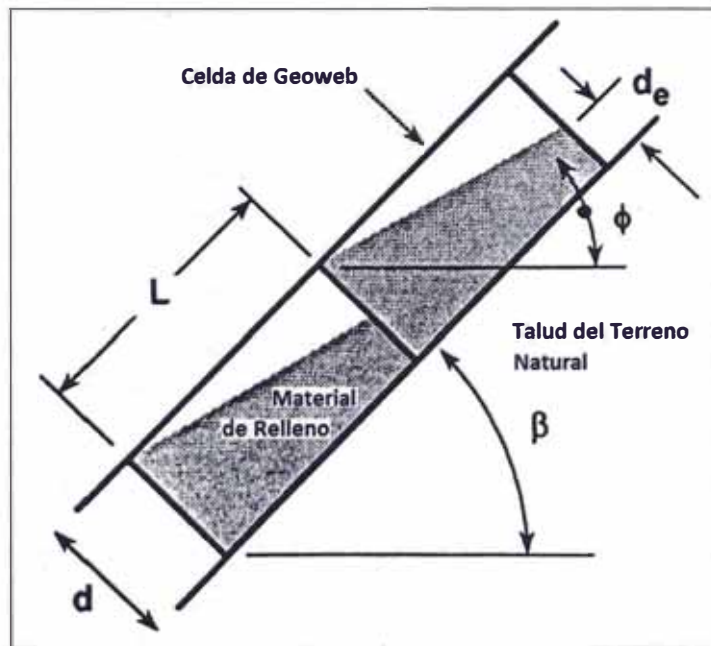


Figura N°3.5 Determinación de la profundidad mínima de la celda. Fuente, Presto Products Company.

De la Figura N°3.5:

La relación entre variables geométricas puede expresarse como:

$$d = L \cdot \tan(\phi - \beta) + d_e \dots \dots \dots \text{ec. (i)}$$

$$\phi = \beta - \arctan((d - d_e)/L) \dots \dots \dots \text{ec. (ii)}$$

Dónde:

ϕ = Ángulo mínimo de reposos del material de relleno.

β = Ángulo de la pendiente.

d = Profundidad de la celda (mm).

L = Longitud de la celda (mm).

d_e = Espesor mínimo aceptable (mm) del material de relleno.

El espesor mínimo recomendado es de $\frac{1}{2} d$. El tamaño apropiado de las celdas de Geoweb y su profundidad basada en d_e de $\frac{1}{2} d$ pueden determinarse por medio de la Figura N°3.6.

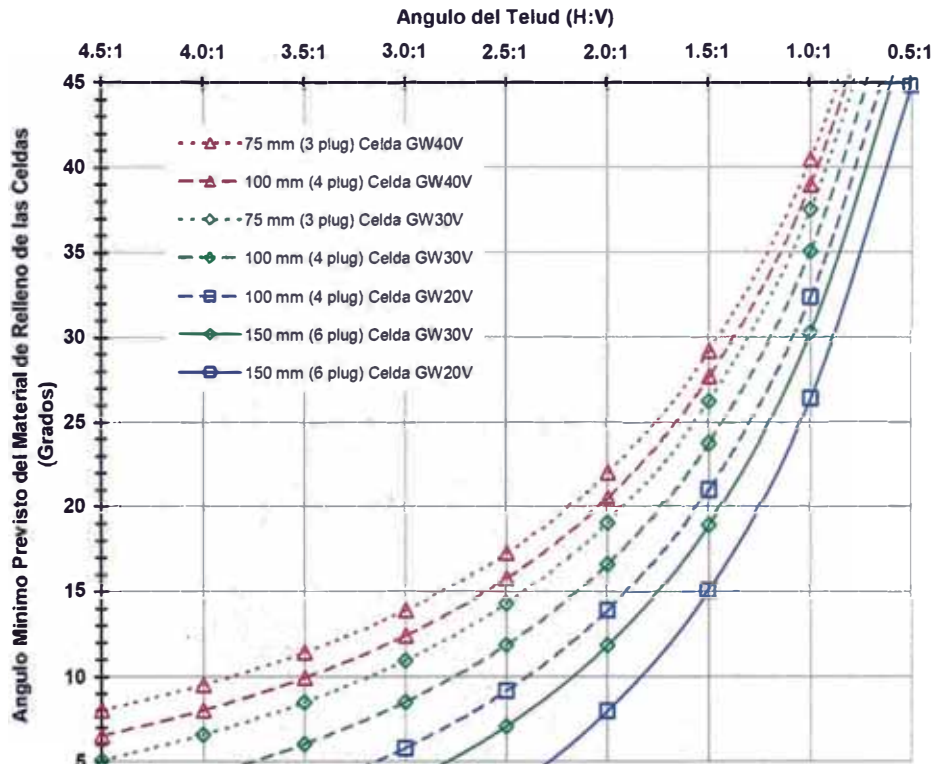


Figura N°3.6 Selección del Tipo de Geoweb para varias Pendientes y Rellenos. Fuente, Presto Products Company.

3.4.4 Selección del sistema de refuerzo

En el sistema de revegetación con el sistema geoweb existen dos soluciones, las cuales se diferencian según los refuerzos a utilizar. Estas soluciones son:

Sistema reforzado con Geomalla

Sistema reforzado con Tendones

La elección del refuerzo a utilizar dependerá principalmente de las siguientes condiciones:

- Tipo de suelo de fundación
- Facilidad en la instalación (menor tiempo)

Sistema reforzado con Geomalla

La geomalla a utilizar como refuerzo será determinada del diseño, esta dependerá directamente de su propiedad a la resistencia a la tracción.

La geomalla utilizada es del tipo tejida. Ver Figura N°3.7.



Figura N°3.7 Geomalla Biaxial del tipo tejida. Fuente, Cortesía de Andex del Norte.

Sistema reforzado con tendones

El tipo de tendón a utilizar al igual que la geomalla será determinado con el diseño, basándose en su resistencia a la tracción.

Cuando la resistencia a la tracción del tendón es superado por los esfuerzos requeridos del sistema se puede utilizar estacas, las cuales serán fijadas a los tendones gracias a la utilización del accesorio Clip Atra. Las estacas al recibir los esfuerzos a que es sometido los tendones, los transmiten al suelo de fundación.



Figura N°3.8 Geoweb con refuerzo de tendón+clip Atra. Fuente, Cortesía de Andex del Norte.



Figura N°3.9 Geoweb con refuerzo de tendón+clip Atra+estaca. Fuente, Cortesía de Andex del Norte.

3.4.5 Comparativo de soluciones de control de erosión

Existen en la actualidad muchos elementos de control de erosión, sin embargo cada uno de estos se diferencian en el tipo de material de fabricación, costos, tiempo de vida, etc.

A continuación se presenta un cuadro comparativo del sistema Geoweb con otros sistemas de control de erosión.

Cuadro N°3.2 Comparativo de Soluciones de control de erosión en taludes. Fuente, Elaboración propia.

CARACTERISTICAS	GEOWEB	MANTO DE CONTROL DE EROSION SINTETICO	MANTOS DE CONTROL DE EROSION BIODEGRADABLE	GEOTEXTIL NO TEJIDO
MATERIAL	Polietileno de alta Densidad (HDPE)	Polipropileno	Fibras de Coco	Polipropileno
CLASIFICACION	Geosintetico	Geosintetico	Organico	Geosintetico
SOLUCION	Control de erosion	Control de erosion	Control de erosion	Control de erosion
REVEGETACION EN EL TALUD	SI	SI	SI	
INCLINACION MAXIMA PARA TALUD VEGETADO	85°	33.7°	33.7°	85°
REVEGETACION EN TALUDES ROCOSOS	SI	NO	NO	NO
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA				
TEMPO DE VIDA REVEGETADA CIVIL	PERMANENTE	TEMPORAL	TEMPORAL	
COSTO(\$)/M2	\$ 6.4	\$ 3.8	\$ 2.13	\$ 1.2

Como se puede apreciar en el Cuadro N°3.2 existen muchas diferencias entre los distintos productos para el control de erosión, sin embargo solo el sistema Geoweb incorpora al talud una vegetación autosostenible ante las máximas exigencias que se pueden encontrar en la realidad, como por ejemplo taludes rocosos que tienen una elevada pendiente.

Los mantos de control de erosión tienen la finalidad de evitar la erosión debido al impacto de las precipitaciones y la escorrentía superficial en los taludes deforestados, sin embargo si se desea establecer vegetación con este sistema se tendría que considerar condiciones especiales de retención del topsoil, que la vegetación se establezca antes que el manto se degrade o cumpla con su vida útil y que el ángulo de inclinación del talud sea como máximo de 33.7°.

3.5. EJEMPLO DE DISEÑO

3.5.1 Requerimiento

Se requiere realizar una mejora paisajística y la revegetación autosostenible en los taludes correspondientes a la Minera AB, ubicada en la Provincia de Hualgayoc, departamento de Cajamarca, con la finalidad de controlar los procesos erosivos producidos por las precipitaciones y/o flujos presentes.

3.5.2 Diagnostico

Se distingue la necesidad de controlar los procesos erosivos en la superficie de los taludes el cual genera efectos negativos de desestabilización de su superficie. Se necesita un sistema que contribuya a mejorar las condiciones actuales y futuras del terreno existente.

3.5.3 Solución

Sistema de Revegetación Autosostenible (Geoweb), para el control de erosión de los taludes, ya que ofrece importantes ventajas técnicas y económicas sobre soluciones convencionales reduciendo sobre costos.

El sistema Geoweb de confinamiento celular ofrece una amplia gama de tratamientos para la protección de la superficie de taludes sometidos a fuerzas erosivas. La flexibilidad característica del sistema, combinada con una serie de técnicas sencillas pero eficientes de anclaje, permite el revestimiento de los taludes empinados con materiales tanto rígidos como con vegetación.



Figura N°3.10 Taludes antes de revegetar. Minera Barrick-La Libertad. Fuente, Cortesía de Andex del Norte.



Figura N°3.11 Taludes después de la revegetación con el **Sistema Geoweb**. Minera Barrick-La Libertad. Fuente, Cortesía de Andex del Norte.

3.5.4 Datos geométricos:

Del plano entregado por el cliente **RDT-001**, se rescatan los siguientes datos:

CARACTERISTICAS DE LOS TALUDES

Zona 01 (talud banqueteado)

- Altura de Taludes : 5.0 m
- Inclinación de taludes : 42°

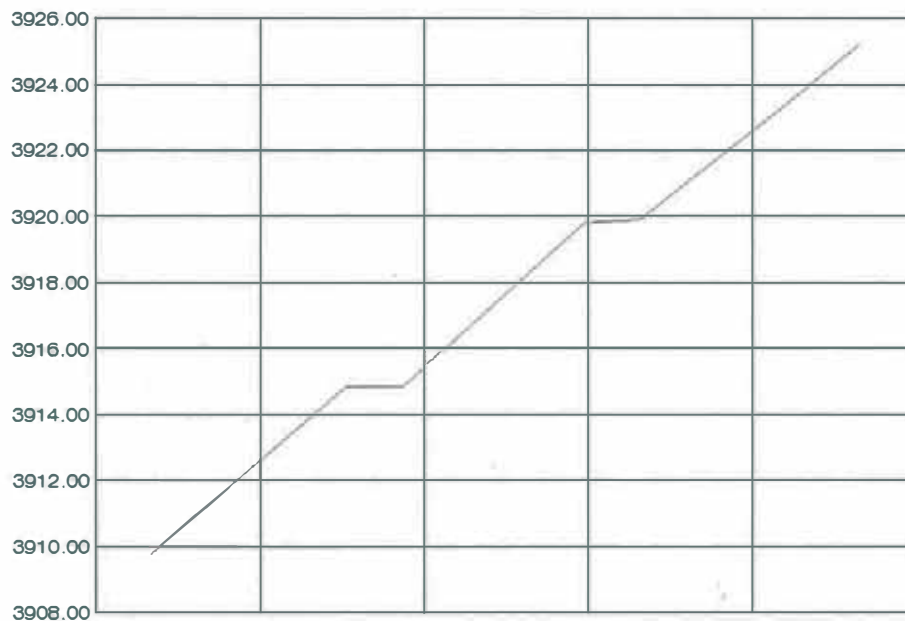


Figura N°3.12 Perfil de los taludes a proteger. Fuente, Plano RDT-001

3.5.5 Datos geotécnicos

Mediante el estudio de mecánica de suelos se determinara los siguientes parámetros geotécnicos necesarios para el diseño:

Suelo de fundación:

- Peso volumétrico $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$
- Angulo de fricción $\phi = 30^\circ$
- Cohesión $c = 5 \text{ kPa}$

Proyecto: REVEGETACION DE TALUDES

d	7.5 cm	<i>espesor de Celda</i>
d _e '	3.75 cm	<i>espesor optimo de llegada</i>
Tipo de Celda	GW30V	
L	28.7 cm	<i>largo de celda</i>
beta	42 °	<i>angulo de talud</i>
phi	32 °	<i>TopSoil</i>

De la ec. (i), despejamos:

$$d_e = d - L \cdot \tan(\theta - \beta)$$

Reemplazando: $d_e = 2.44 \text{ cm}$

Recomendación de Presto Products Company:

$$d_e \geq 1''$$

$$d_e \geq 2.5 \text{ cm}$$

$$2.44 \approx 2.5 \text{ cm}$$

Como se puede apreciar la condición cumpliría con el espesor de relleno mínimo recomendado.

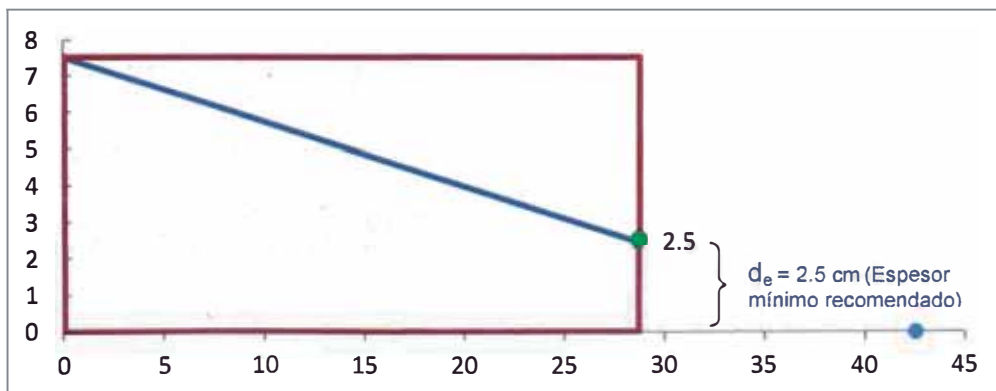


Figura N°3.13 Representación del relleno de Topsoil en la celda GW30V3. Fuente, Cortesia Anx del Norte.

3.5.7 Análisis y evaluación

MARCO TEÓRICO

DISEÑO POR FUNCION:

En el concepto de diseño por función, el factor de seguridad formulado tiene como numerador un valor permisible; este valor NO debe ser tomado directamente como el resultado del ensayo, sino que debe ser modificado por las condiciones in situ.

RESISTENCIA PERMISIBLE

La base del diseño por función es el establecimiento de un factor de seguridad global:

$$FS = \frac{T_{perm}}{T_{req}}$$

FS = Factor de seguridad (para acomodar las condiciones de carga no conocidas o las incertidumbres en el método de diseño)

T_{perm} = Resistencia a la tensión permisible.

T_{req} = Resistencia a la tensión requerida, que se obtiene del diseño de la situación particular.

La resistencia a la tensión obtenida en el laboratorio es llamado usualmente Valor Ultimo y debe ser reducido antes de ser usado en el diseño.

Para tomar en cuenta las diferencias existentes entre las condiciones de ensayo y las condiciones de campo, se usan los llamados factores de reducción para convertir el valor último, obtenido en el laboratorio, en un valor permisible.

$$T_{perm} = T_{ult} \left(\frac{1}{FR_{DI} \times FR_{CR} \times FR_{DQ} \times FR_{DB}} \right)$$

Donde:

T_{perm}	= Resistencia a la tensión permisible.
T_{ult}	= Resistencia a la tensión última.
FR_{DI}	= Factor de reducción por daños de instalación.
FR_{CR}	= Factor de reducción por CREEP.
FR_{DQ}	= Factor de reducción por degradación química.
FR_{DB}	= Factor de reducción por degradación biológica.

Es evidente que algunos de estos valores podrían ser 1.0 o ligeramente mayores, resultando totalmente despreciables.

Por el contrario, otros factores de reducción no específicamente mencionados, podrían ser incluidos en la ecuación teniendo en cuenta la situación particular.

Por ejemplo, FR_{UV} por degradación por rayos ultravioletas; FR_{junta} por uniones o conexiones hechas en campo; o FR_{pen} por penetraciones o punzonamiento.

Application Area	Reduction Factor Values		
	RF_{ID}	RF_{CR}	RF_{CBD}
Unpaved roads	1.1–1.6	1.5–2.5	1.0–1.6
Paved roads	1.2–1.5	1.5–2.5	1.1–1.7
Embankments	1.1–1.4	2.0–3.0	1.1–1.5
Slopes	1.1–1.4	2.0–3.0	1.1–1.5
Walls	1.1–1.4	2.0–3.0	1.1–1.5
Foundations	1.2–1.5	2.0–3.0	1.1–1.6

Figura N°3.14 Factores de reducción recomendados para geomallas. Fuente, Koerner, Robert M. (Fifth Edition)

DISEÑO DE ZANJA DE ANCLAJE

El diseño de la zanja de anclaje para el talud revegetado con el sistema Geoweb, está basado en el capítulo 5 del libro “Diseño con Geosintéticos”. 4ta edición, autor Koerner, Robert M.

Diseño de trincheras de anclaje

En la Figura N°3.15.1 se ilustra el caso con una trinchera de anclaje al final de la berma.

Para proporcionar resistencia lateral, la distancia vertical dentro de la trinchera sobre la trinchera de anclaje tiene fuerzas laterales actuando sobre ella. Específicamente, una presión activa de tierra (P_a) tiende a desestabilizar la situación, mientras que una presión pasiva de tierra (P_p) tiende a resistir el arrancamiento (Pullout).

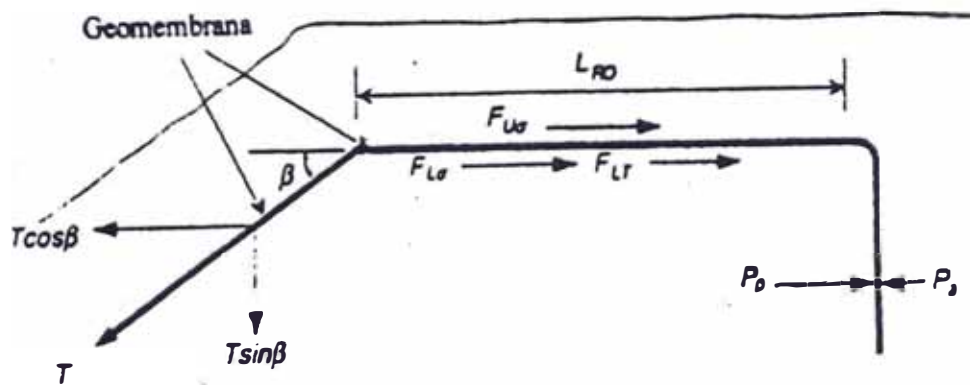


Figura N°3.15.1 Fuerzas involucradas en la trinchera de anclaje. Fuente, Koerner, Robert M.

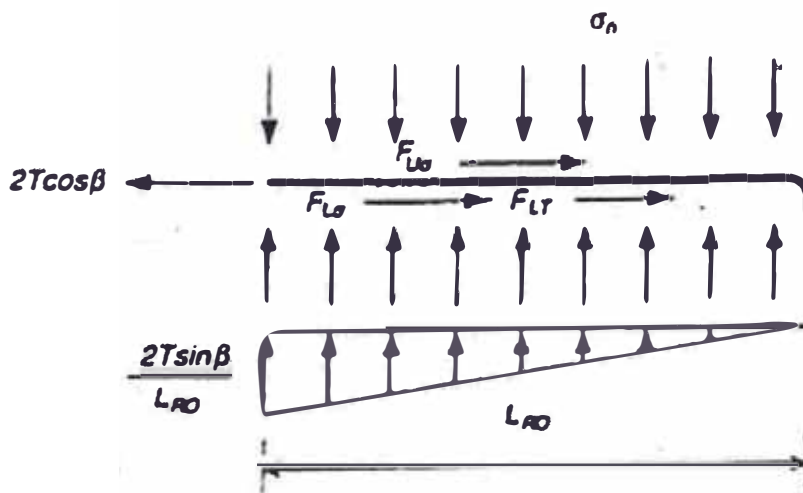


Figura N°3.15.2 Esfuerzos involucrados en la berma. Fuente, Koerner, Robert M.

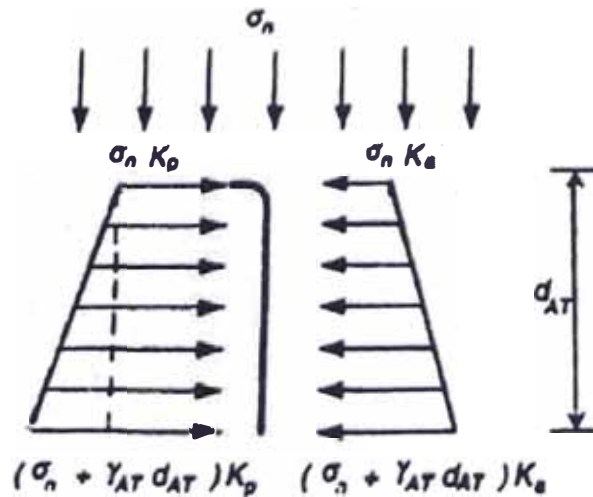


Figura N°3.15.3 Esfuerzos involucrados en la trinchera de anclaje. Fuente, Koerner, Robert M.

Del diagrama de cuerpo libre de las Figura N°3.15.1 y de la Figura N°3.15.2 tenemos:

$$\Sigma F_x = 0$$

$$T_{\text{permisible}} \cos\beta = F_{U\sigma} + F_{L\sigma} + F_{LT} - P_A + P_P$$

$$F_{U\sigma} = \sigma_n \tan\delta_U (L_{RO})$$

$$F_{L\sigma} = \sigma_n \tan\delta_L (L_{RO})$$

$$F_{LT} = T_{\text{permisible}} \text{sen}\beta \tan\delta_L$$

donde:

$T_{\text{permisible}}$ = Fuerza permisible en el esfuerzo de la geomembrana.

β = Ángulo del talud.

$F_{U\sigma}$ = Fuerza cortante encima de la geomembrana debido al suelo de cobertura (nótese que para suelos de cobertura delgados, ocurrirá la fractura por tensión y este valor será despreciable).

$F_{L\sigma}$ = Fuerza cortante bajo la geomembrana debido al suelo de cobertura.

F_{LT} = Fuerza cortante bajo la geomembrana debido a la componente vertical de $T_{\text{permisible}}$.

P_A = Presión activa de la tierra sobre el lado de relleno de la trinchera de anclaje.

P_P = Presión pasiva de la tierra sobre el lado in-situ de la trinchera de anclaje.

σ_n = Esfuerzo normal aplicado desde el suelo de cobertura.

δ = Ángulo de resistencia cortante entre la geomembrana y el material adyacente. (Suelo o geotextil).

L_{RO} = Longitud de la berma.

Los valores de P_A y P_P requieren el uso de la teoría de las presiones laterales de empuje de tierra. De la Figura N°3.15.3 tenemos:

$$P_A = (0.5\gamma_{AT} d_{AT} + \sigma_n) K_A d_{AT}$$

$$P_P = (0.5\gamma_{AT} d_{AT} + \sigma_n) K_P d_{AT}$$

Dónde:

γ_{AT} = Peso unitario del suelo en la trinchera de anclaje.

d_{AT} = Profundidad de la trinchera de anclaje.

σ_n = Esfuerzo normal aplicado desde el suelo de cobertura.

K_A = Coeficiente de presión activa de la tierra = $\tan^2(45 - \delta/2)$

K_P = Coeficiente de presión pasiva de la tierra = $\tan^2(45 + \delta/2)$

δ = Ángulo de resistencia cortante del suelo respectivo.

Zanja de anclaje para Geomalla

En la teoría anteriormente descrita el análisis y diseño se realiza para una trinchera de anclaje con recubrimiento de geomembrana, sin embargo el análisis estático que plantea será el mismo para un recubrimiento con geomallas con la variante de que ahora se considera una zanja de anclaje.

En la zanja de anclaje la longitud de su base genera fuerza F_4 , el cual se opone al desplazamiento. Ver Figura N°3.16.

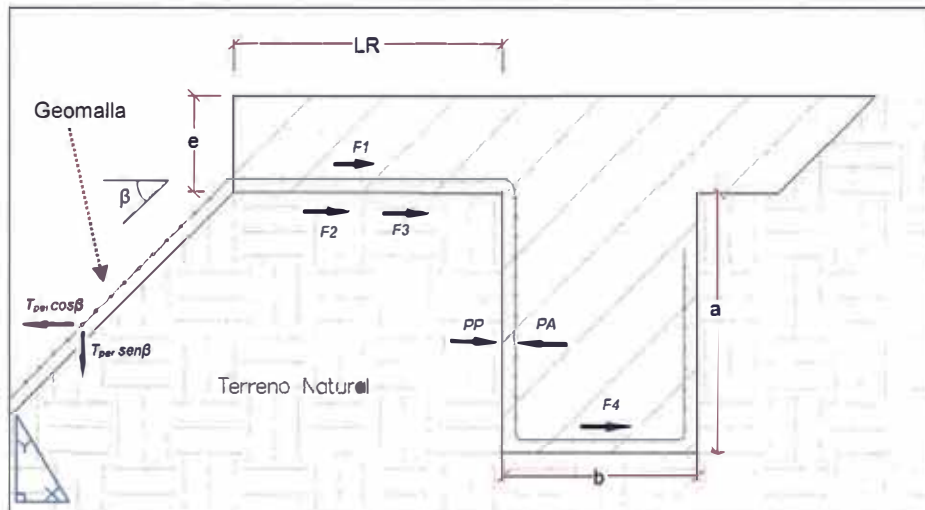


Figura N°3.16 Diagrama de cuerpo libre de las fuerzas actuantes en la zanja de anclaje. Fuente, Cortesía de Andex del Norte.

Donde:

T_{per} = Fuerza o tensión permisible.

β = Ángulo del talud.

F_1 = Fuerza cortante encima de la geomalla debido al suelo de cobertura (nótese que para suelos de cobertura delgados, ocurrirá la fractura por tensión y este valor será despreciable).

F_2 = Fuerza cortante bajo la geomalla debido al suelo de cobertura.

F_3 = Fuerza cortante bajo la geomalla debido a la componente vertical de T_{per} .

F_4 = Fuerza cortante bajo la geomalla debido al suelo de la zanja de anclaje.

$$F_4 = (a + e) \gamma_{ZA} (\tan \delta_z) b$$

PA = Presión activa de la tierra sobre el lado de relleno de la zanja de anclaje.

PP = Presión pasiva de la tierra sobre el lado in-situ de la zanja de anclaje.

δ = Ángulo de resistencia cortante entre la geomalla y el material adyacente (suelo o geotextil).

LR = Longitud de la berma.

e = Altura de la berma.

Los valores de P_A y P_P requieren el uso de la teoría de las presiones laterales de empuje de tierra. De la Figura N°3.15.3 tenemos:

$$P_A = (0.5\gamma_{ZA} a + \sigma_n) K_A a$$

$$P_P = (0.5\gamma_{ZA} a + \sigma_n) K_P a$$

Donde:

γ_{ZA} = Peso unitario del suelo en la zanja de anclaje.

a = Profundidad o altura de la zanja de anclaje.

σ_n = Esfuerzo normal aplicado desde el suelo de cobertura.

K_A = Coeficiente de presión activa de la tierra = $\tan^2(45 - \phi/2)$

K_P = Coeficiente de presión pasiva de la tierra = $\tan^2(45 + \phi/2)$

ϕ = Ángulo de fricción del terreno natural.

ANÁLISIS ESTÁTICO DEL SISTEMA GEOWEB - GEOMALLA

Con la ayuda de una hoja de cálculo realizaremos el diseño.

Ingresamos los siguientes datos:

Input

English or Metric (E or M)	M		
Slope Angle	42.0	Slope (xH: 1V)	1.11
Slope Length (m)	7.50	Vert. Height (m)	5.0
Interface Friction (degrees)	23		
Cell Size (GW20V, GW30V or GW40V)	GW30V		
Web Thickness (mm)	75	Infill Wt (kN/m)	10.1
Seam Strength - Long-term or Short-term	LT		
Seam Strength Factor-of-Safety	1.5		
Infill Unit Weight (kN/cu.m)	18		
Additional Cover on Slope (mm)	0	Cover Wt (kN/m)	0.0
Cover Unit Weight (kN/cu.m)	0		
Design Factor-of-Safety	1.3	Total Wt (kN/m)	10.1
Toe Load (kN/m)	0		
Infill type	TOPSOIL		
Tendon type	GMLL 25BX		

Calculations

200 mm (8 in) Long-term Seam Strength	418 lbf	1.863 kN/m
Factored Geoweb Tensile (kN/m)	1.5	Allowable Tensile
Driving Force (kN/m)	6.8	Weight+Toe Load
Factored Driving Force (kN/m)	8.8	Weight Only
Factored Driving Force (kN/m)	8.8	Weight+Toe Load
Resisting Force (kN/m)	3.19	Shear Only
Factor-of-Safety	0.47	Shear + Passive
Maximum Available F.S.	0.69	Anchored Geoweb

Como hemos considerado el uso de geomalla por ser un suelo ácido, no consideramos el análisis de estacas Length (mm) = 0.

ANCHOR STAKE DETAILS

Net Driving (kN/sq.m)	0.75	Factored
Max. Geoweb Length (m)	1.9	Unrestrained
Max. Downslope Spacing (mm)	1945	

Input

Length (mm)	0		
Diameter or Width (mm)	12.7		
Downslope Spacing (mm)	287	1	OK
Horizontal Spacing (mm)	320	1	
Soil Friction (degrees)	30		
Soil Cohesion (kN/sq.m)	5		
Unit Weight (kN/cu.m)	18		

Calculations

Kp (Coefficient)	0.00	
Buried Stake Length (m)	0.00	
Stake Resistance (kN)	0.00	Single Stake
Number of Rows of Stakes	27	
Stake Resistance (kN/m)	0.0	Resultant
Stake Resistance (kN/sq.m)	0.00	Net Resultant
Resisting Force (kN/m)	3.2	Shear, Passive, Stakes
Factor of Safety	0.47	Shear, Passive, Stakes
Maximum Available F.S.	0.69	Anchored Geoweb

Propiedades de la Geomalla Tejida Biaxial 25BX.

PROPIEDAD INDICE	METODO DE ENSAYO	VALOR ^{1,3}
Mecánicas		
Resistencia a la Tensión Última		
MD (Elongación)	ASTM D6637 ⁽²⁾	25.0 kN/m (10.5%)
XMD (Elongación)	y ASTM D4595 ⁽²⁾	29.0 kN/m (9.30%)

Ahora analizaremos el diseño con la geomalla 25BX (diseño por función).

Cálculos:

TENDONS			
Required Tension (kN/m)	4.2		Tendons + Geoweb tensile
Required Tension (kN/m)	5.6		Tendons only
Input			
Ultimate Strength (kN)	9.30		
FR _{DI}	1.20		
FR _{CR}	2.00		
FR _{DQ}	1.20		
FR _{DB}	1.00		
Tendon Centres (mm)	320	1	
Tendons/Slot	0.9		
Overall Factor of Safety	2.88		
TIPO DE GEOMALLA	25BX	NUMERO DE GEOMALLAS	1.0
Tu =	25.0	KN/m	
Tallow	8.7	KN/m	OK
Calculations			
Available Tension/Slot (kN)	2.7		
Available Tension (kN/m)	8.6		OK
Factor of Safety	0.47		
Max. Available F.S.	1.95		Anchored GW & Tendons
Max. Available F.S.	1.74		Anchored tendons only

De los cálculos determinamos lo siguiente:

F.S del sistema Geoweb y Geomalla = 1.95 > 1.3 cumple!!

Por lo tanto definimos sistema a utilizar:

- Tipo de Geoweb : **GW30V3**
- Refuerzo : **GEOMALLA BIAXIAL 25BX**
- Accesorio de fijación : **CINTILLOS**

RESISTENCIA DEL CINTILLO DE FIJACIÓN

Para realizar la fijación del sistema geoweb - geomalla se utilizara el cintillo de fijación, el cual deberá resistir a los esfuerzos al que será sometido.

Verificación:

CINTILLOS

Resistencia Referencial	20	kg
F.S	1.5	
Resistencia Final	13.3	kg

	ANCHO m	LARGO m	SECCION m2
GW30V	0.320	0.287	8X29
GW40V	0.508	0.475	5X29

Peso Especifico relleno	18.0	kN/m3
Tipo Geoweb	GW30V	
Espesor	0.08	m
Area	0.092	m2
Peso/GWB	0.06	kN
	6.2	kg
Cantidad de Cintillos	1	
Resistencia de Cintillos	13.3	kg
F.S	2.15	Ok!

De la hoja de cálculo tenemos:

$$F.S_{\text{CINTILLOS}} = 2.15 > 1 \dots\dots\dots \text{cumple!!}$$

Por lo tanto se utilizara 1 cintillo por celda.

DISEÑO DE ZANJA DE ANCLAJE

Cálculos:

Estimación de la tensión requerida ($T_{requerida}$) para el diseño:

Datos Geométricos:

- Altura de Talud $h_t = 5.0$ m
- Inclinación de talud $\beta = 42^\circ$
- Longitud de Talud
 $L_t = h_t \cdot \text{Csc } \beta \rightarrow L_t = 7.50$ m

Datos del sistema de solución:

- Tipo de Geoweb : GW30V3
- Atura de Geoweb $h_G: 75$ mm

Material de Relleno (Top Soil):

- Peso volumétrico (Saturado) $\gamma_{TP} = 18$ kN/m³

Calculo de $T_{requerida}$:

$$T_{requerida} \text{ (kN/m)} = (L_t \cdot h_G \cdot \gamma_{TP}) / 1000$$

Reemplazando:

$$T_{requerida} = 7.50 \times 75 \times 18 / 1000$$

$$T_{requerida} = 10.09 \text{ kN/m}$$

Ahora con la ayuda de una hoja de cálculo, realizamos el diseño:

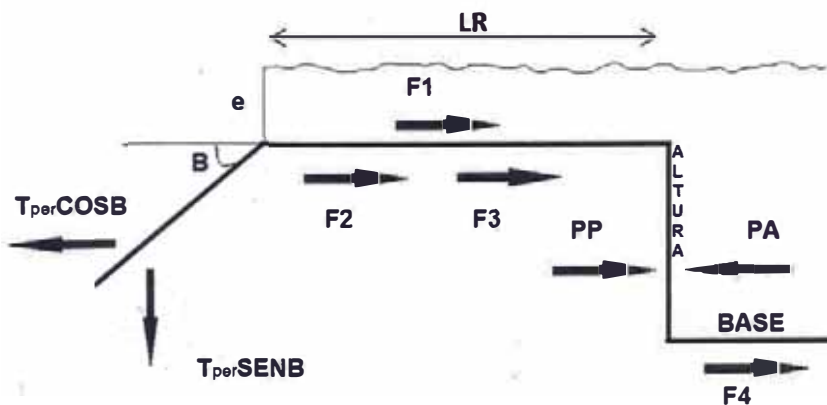
DATOS A INGRESAR

Talud	H	1.11	42.00
	v	1.00	
Cobertura Suelo	e (mm)	0	
	P. E.(kN/m3)	18	
Long. Berma (LR) (mm)		500	
Fricción del Suelo		30	
Interface de Fricción Geosintético-Suelo		23	
A. Fractura de suelo		0	
T requerida (KN/m)		11	

Consideramos una zanja de las siguientes dimensiones:

Altura (m)	0.7
Base (m)	0.5

RESOLUCION GRAFICA



EVALUACIÓN

De acuerdo a la información considerada y análisis realizado, se plantea el uso del sistema de confinamiento geocelular texturado y perforado Geoweb, el cual contendrá un suelo de cultivo (TopSoil) con fines revegetativos.

El sistema sugerido contempla un Geoweb del tipo **GW30V3TP** de 75mm \pm 5% de altura nominal; el cual ofrecerá las condiciones adecuadas, para la colocación de un elemento de relleno, como es el caso del Top Soil de revegetación.

Este sistema incluye accesorios, como los **Atra Key**, Geomalla Biaxial **25BX** y los **Cintillos**, distribuidos adecuadamente por diseño; siendo estos, elementos que proporcionarán estabilidad al sistema.

El sistema a su vez requerirá de una zanja anclaje en la corona o parte alta del talud, para su soporte total, ésta es especificada en la lámina **CE-01**.

En la lámina **CE-01**, se muestra con mayor detalle la conceptualización de esta alternativa.

3.5.8 Metrado

CALCULO DE DENSIDADES

TIPO DE SECCION	ANCHO (m)	LARGO (m)	SECCION (m ²)
GW40V	0.508	0.475	5X29
GW30V	0.320	0.287	8X29
GW20V	0.259	0.224	10X29

Cuadro N° 3.4 Dimensiones de los tipos de secciones Geoweb.

Del cuadro N° 3.4:

La sección GW30V3 está compuesta de 8x29 celdas:

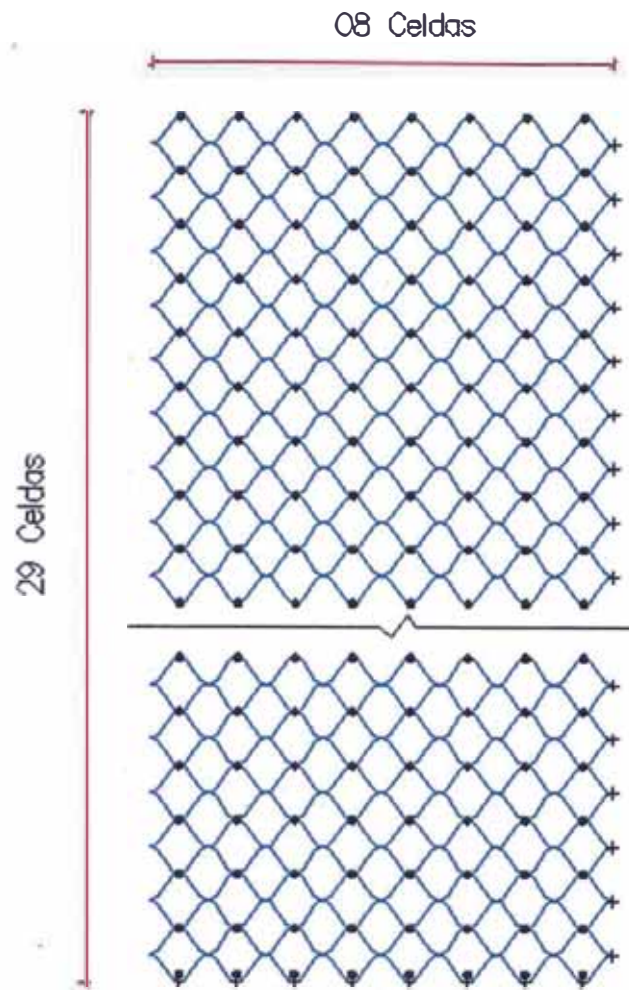


Figura N°3.17 Disposición de celdas GW30V3 por faja, Cortesía de Andex del Norte.

Densidades

$$\text{ATRA KEY} / \text{m}^2 = (8+29) / (8 \times 320 \times 29 \times 0.297) = 1.74 \text{ unid/m}^2$$

$$\text{CINTILLOS} / \text{m}^2 = (8 \times 29) / (8 \times 320 \times 29 \times 0.297) = 10.89 \text{ unid/m}^2$$

DESCRIPCION	Unidad	Densidad	Desperdicio	Traslape	Densidad Factorada
GEOWEB 30V3	M2	1.00	1.05	1.05	1.10
GEOMALLA 25BX	M2	1.00	1.05	1.10	1.16
ATRA KEY	UND	1.74	1.05	1.00	1.82
CINTILLOS	UND	10.89	1.05	1.00	11.43

CAPÍTULO IV: PROCESO CONSTRUCTIVO DEL SISTEMA DE REVEGETACION AUTOSOSTENIBLE PARA EL CONTROL DE EROSIÓN

En operaciones de relleno sobre taludes, debe evitarse la descarga o caída de agregados pequeños desde alturas mayores 1 m y de agregados grandes desde más de 0.50 m. se debe cuidar que todas las celdas estén llenas pero sin exceso. Se puede compactar el agregado dentro de las celdas de Geoweb con una apisonadora de plancha o mediante la parte posterior lisa del cucharón del equipo de colocación.

4.1 PREPARACION DEL TERRENO

Una vez ubicado en el terreno a revegetar, se procederá de la siguiente manera:

- Limpiar los taludes y la solera de la vegetación existente
- Excavar y perfilar el talud
- Colocar, compactar y perfilar el relleno de tierra requerido según el ángulo de inclinación del talud.



Figura N°4.1 Perfilado del talud existente. Fuente, Cortesía de Andex del Norte.

4.2 EXCAVACION DE ZANJA DE ANCLAJE

Esta actividad se puede realizar manualmente o con maquinaria pesada. Se procederá de la siguiente manera:

En la corona del talud excavar zanjas de acuerdo a las dimensiones que manda el diseño del sistema, este procedimiento se realizara en todo el perímetro de la zona a revegetar.



Figura N°4.2 Excavación de zanja de fijación. Fuente, Cortesía de Andex del Norte.

4.3 PROTECCION DE FILTRO O DRENAJE

El geotextil cumple las funciones de dren y filtro. El uso de este geosintético es recomendado para zonas que presentan altas precipitaciones.

Para su instalación se debe seguir los siguientes pasos:

- Colocar y extender el geotextil especificado sobre el talud.
- Traslapar adecuadamente las secciones adyacentes y fijarlas.

- Asegurar que el geotextil este colocado en las zanjas de fijación perimetrales.
- Fijar los bordes del geotextil impidiendo todo desplazamiento.



Figura N°4.3 Colocación de geotextil sobre el talud. Fuente, Cortesía de Andex del Norte.

4.4 ANCLAJE DE CORONACION

Previo al tendido de la geomalla, este elemento se tendrá que fijar en la zanja de anclaje, para ello procedemos de la siguiente manera:

- Con la ayuda de un gancho de fijación en forma de U, anclar un extremo del rollo de geomalla en la zanja de anclaje.



Figura N°4.4 Anclaje de la geomalla. Fuente, Cortesía de Andex del Norte.

- Luego de ello tender libremente por rodamiento la geomalla sobre el talud.
- Luego de anclar la geomalla, se procede a rellenar y compactar el material de corte sobre la zanja.



Figura N°4.5 Relleno y compactación en la zanja de coronación. Fuente, Cortesía de Andex del Norte.

4.5 COLOCACION DE LA GEOMALLA

Este geosintético cumple la función de refuerzo para soportar y transmitir a la zanja de anclaje las cargas estáticas generadas por el peso del material de relleno (Topsoil).

Para su instalación se debe seguir los siguientes pasos:

- Colocar y extender la geomalla especificada sobre el talud.
- Traslapar adecuadamente las secciones adyacentes y fijarlas.
- Asegurar que la geomalla este colocado en las zanjas de fijación perimetrales.
- Fijar los bordes de la geomalla impidiendo todo desplazamiento.



Figura N°4.6 Colocación de la geomalla sobre el talud. Fuente, Cortesía de Andex del Norte.

4.6 COLOCACION Y FIJACION DE LAS SECCIONES DE GEOWEB

Luego de haber colocado y fijado la geomalla en el talud, se procederá a realizar la presente actividad:

- Extender parcialmente la sección de geoweb y colocarlas sobre la geomalla.

- Extender las secciones de geoweb hacia abajo sobre el talud, hasta que alcancen la longitud especificada del producto.
- Para mantener las secciones completamente estiradas, se podría utilizar estacas de apoyo.
- Colocar el cintillo de fijación para enlazar geomalla - geoweb.
- Colocar los cintillos según especifica el diseño (Planos).



Figura N°4.7 Colocación de cintillos de fijación. Fuente, Cortesía de Andex del Norte.



Figura N°4.8 Fijación geoweb - geomalla. Fuente, Cortesía de Andex del Norte.

- Alinear intercaladamente los bordes de las secciones geoweb adyacentes, asegurándose que se encuentren al mismo nivel.
- A través de los denominados “ojos chinos” de las secciones geoweb, se procede a colocar el Atra Key, el cual mediante un giro de 90° conectara mecánicamente dichas secciones. Ver Figura N°4.9.

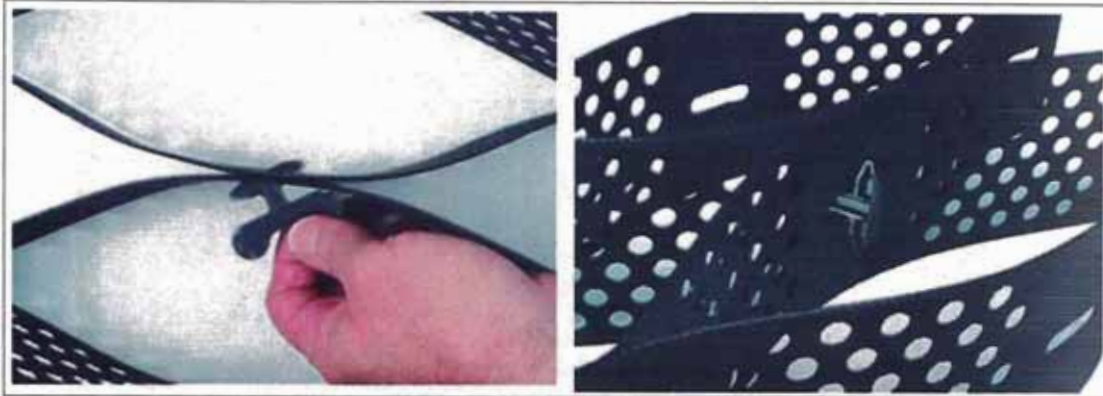


Figura N°4.9 Colocación del accesorio Atra Key. Fuente, Cortesía de Andex del Norte

4.7 COLOCACION DEL RELLENO

El llenado de las secciones de geoweb, empieza después de concluida la fase de colocación y fijación de geoweb.

- Para esta actividad puede utilizarse una serie de equipos, las cuales menciono a continuación:
 - o Excavadora hidráulica (retroexcavadora).
 - o Cargador frontal.
 - o Faja transportadora.
 - o Elevador de balde
 - o Canalón para vacear concreto (chute).
- Limitar la altura de caída del material de relleno a un máximo de 1 m.
- Llenar desde la corona hacia el pie del talud.

- Las celdas deben llenarse en exceso, a fin de permitir su consolidación y compactación.
- Verificar que el relleno quede a nivel con la parte superior de las celdas al final del trabajo.



Figura N°4.10 Colocación de Relleno (Top soil + semillas). Fuente, Cortesía de Andex del Norte.

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- La estructura de confinamiento geocelular texturado y perforado geoweb relleno con top soil, permitirá la retención del material por largos periodos tiempo, con lo cual brindará las condiciones óptimas para el desarrollo y crecimiento radicular de la vegetación en las zonas donde ésta se emplee.
- El sistema al proporcionar una capa de cobertura vegetal sobre el talud natural, permitirá el adecuado control de la erosión, asimismo permitirá el libre flujo de agua de escorrentía, evitando además posibles filtraciones en el talud por medio de sus perforaciones.
- El análisis de la tensión permisible de trabajo para los Geosintéticos es calculada aplicando una serie de factores de reducción a la tensión ultima mostrada en las especificaciones técnicas propias del producto, estos valores deberán tenerse siempre en cuenta dado que los Geosintéticos son susceptibles a daños de instalación, químicos, de fluencia en el tiempo, etc.
- El empleo de la estructura de confinamiento celular texturado y perforado geoweb permitirá obtener rendimientos en instalación que van en el orden de los 400 a 600 m² diarios pudiendo ser este mayor.
- Bajo las premisas y condiciones del proyecto analizado se obtuvo un costo de \$ 54.07 / m² para la instalación del sistema geoweb para la revegetación de los taludes.
- La vegetación como sistema de control de erosión es multifuncional, relativamente económica, se autorepara, es visualmente atractiva, no requiere generalmente de equipos pesados o complejos ni mano de obra calificada para su instalación

- En la actualidad existen en el mercado sistemas de celdas de confinamiento geocelular similares al sistema geoweb, sin embargo cabe resaltar que la tecnología desarrollada en el geoweb brinda propiedades únicas y que superan ampliamente a las imitaciones, ya que es fabricado desde su resina inicial hasta el producto final, cuenta con certificaciones de calidad y además tiene más de 13 años de experiencia de aplicación en el Perú.

5.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda investigar las celdas de confinamiento geocelular similares al sistema geoweb que en la actualidad existen en el mercado, y con ello realizar un comparativo de sus propiedades mecánicas, composición de la materia prima, proceso de fabricación y calidad del producto.
- Se recomienda llevar a cabo los ensayos de laboratorio para los accesorios utilizados el sistema, para corroborar de esta manera sus propiedades mecánicas descritas.
- Los factores de reducción de la geomalla deberán ser proporcionado por el proveedor del geosintético, ya que estos valores son propios de dicho material. El diseñador deberá evaluar los factores de reducción aplicables en cada caso de acuerdo con las condiciones específicas del proyecto.
- Se recomienda colocar cunetas al pie del talud revegetado para que pueda captar y evacuar el agua proveniente de la escorrentía sobre la superficie del talud.
- La vegetación a introducir en el sistema geoweb tendrá un adecuado tratamiento biológico, el cual será detallado por un biólogo especialista, asegurando el desarrollo de la vegetación tanto en el sistema geoweb como en la zona de proyecto.

BIBLIOGRAFIA

- Koerner, Robert M., “Diseño con Geosintéticos”, Cuarta Edición, Traducción autorizada por Pearson Education para el 2do Curso de Especialización en Geosintéticos del 30 y 31-05-2003, organizado por IGS Perú.
- Koerner, Robert M., “Designing whit geosynthetics”. Editorial Pearson Prentice Hall, 5.a Edición. New Jersey, Estados Unidos de Norteamérica, 2005.
- Presto Products Company, P.O. Box 2399, GEOWEB System (Sistema GEOWEB), Appleton, Wisconsin, USA 54912-2399.
- Huerta Amoretti, Guillermo, “Programación de Obras con MSProject”, 4ta Edición, Fondo editorial ICG, Noviembre 2012.
- Suárez Díaz, Jaime, “Control de Erosión en Zonas Tropicales”, División editorial y de publicaciones Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, 2001.